

LIETUVOS TSR MOKSLŲ AKADEMIJOS
GEOLOGIJOS IR GEOGRAFIJOS INSTITUTAS
VILNIAUS VALSTYBINIO VINCO KAPSUKO vardo UNIVERSITETO
GAMTOS MOKSLŲ FAKULTETAS

K. BIELIUKAS

EŽEROTYROS PAGRINDAI

VILNIUS — 1961

556-55
131-152

ANOTACIJA

K. Bieliuko „Ežerotyros pagrindai“ skiriami ne vien studentams, bet ir limnologams-praktikams, geografijos ir jai artimų disciplinų dėstytojams ir kitiems skaitytojams, norintiems tiksliau ežero gyvenimą pažinti.

Svarbiausias autoriaus uždavinys — įvesti skaitytoją į ežerotyrą ir ežerotylinę literatūrą, padaryti ją skaitytojui artimą, suprantamą.

Įvade autorius nušviečia ežerotyros esmę, pirmojoje dalyje — ežero dubens formas ir kilmę, antrojoje — ežero vandens masėje vykstančius procesus, trečiojoje — biologinius reiškinius, ketvirtojoje — ežero vystymosi eigą. Pabaigoje autorius trumpai aptaria regioninę, taikomąją ir praktinę ežerotyrą.

Dėstant vis turima akivaizdoje ežero gyvenimo dinamiškumas, ežero dubens ir jame susitelkusios vandens masės savitarpio priklausomybė ir sąryšis su aplinka, o taip pat sąryšis teorijos su praktika.

REDAKCINĖ KOLEGIJA

V. Chomskis (veikalo redaktorius) *E. Červinskas*,
V. Gudelis (vyr. redaktorius) *M. Lasinskas*, *J. Lazauskas*, *A. Mačionis*, *B. Styra*

PRATARTIS

Sie „Ežerotyros pagrindai“ išsivystė iš paskaitų, autoriaus skaitytų nuo 1947 iki 1959 metų Vilniaus valstybinio Vinco Kapsuko vardo universitete. Gamtos mokslų fakultete. Rengiant veikalą spaudai, teko iš paskaitų kai ką praleisti, o kai ką pilniau ir detaliau išdėstyti, nes turėta omenyje platesnis skaitytojų ratas, o ne vien studentai. Šis veikalas skiriamas taip pat limnologams-praktikams, geografijos bei jai artimų disciplinų dėstytojams ir kitiems skaitytojams, savo šalį ir apskritai gamtą mylintiems ir norintiems plačiau bei giliau ežero gyvenimą pažinti. Praleistos labai specialius dalykus liečiančios vietos. Detaliau išdėstytos tos vietos, kur tenka naudotis matematiniu aparatu. Besistengiant, kad knyga išeitų ne per didelės apimties, tekstą teko labai glausti.

Vis dėlto bendrąją ežerotyrą stengiasi išdėstyti kiek galint pilniau ir visapusiškiau, nes ji yra ežerotyros kamienas. Kitos šakos, būtent regioninė, arba lyginamoji, ežerotyra, taikomoji ir praktinė ežerotyra, aptariamos pabaigoje labai trumpai, kad susidarytų skaitytojui bendras ežerotyros vaizdas ir perspektyva, ką jis turi daryti toliau.

Įvade nušviesta ežerotyros ir ežero esmė, pirmojoje bendrosios ežerotyros dalyje — dubenų formos ir jų kilmė, antrojoje aptariamais įvairūs procesai, vykstantieji ežero vandens masėje, trečiojoje — biologiniai reiškiniai ežere, pagaliau ketvirtojoje svarstomos ežero vystymosi eigos problemos. Regioninė, taikomoji ir praktinė limnologija trumpai aptariamos baigiamojame dalyje.

Skaitydamas kursą aukštojoje mokykloje ir rengdamas jį spausdinti, autorius vis turėjo akivaizdoje ežero gyvenimo

dinamiškumą, ežero dubens ir tame dubenyje susitelkusios vandens masės savitarpio priklausomybę ir sąsąjį su aplinka, o taip pat sąsąjį teorijos su praktika ir, atvirkščiai, praktikos su teorija.

Autoriui darbą lengvino santykiavimas su kitais Lietuvos TSR ir visos Tarybų Sąjungos geografais; didelę paramą jam suteikė ir Lietuvos TSR Mokslų akademijos Centrinė biblioteka, aprūpindama pačia naująja literatūra,— tiek tarybine, tiek užsienine.

Rengti knygą spaudai ypačiai padėjo Vilniaus Valstybinio Vinco Kapsuko vardo universiteto docentai — V. Chomskis (šio veikalo redaktorius), A. Basalykas ir E. Červinskas, Lietuvos TSR Mokslų akademijos Geologijos ir geografijos instituto sektoriaus vadovas V. Gudelis, moksliniai bendradarbiai A. Garunkštis ir A. Bunikis, taip pat Gamtos apsaugos komiteto prie Lietuvos TSR MT pirmininkas V. Bergas ir Lietuvos TSR MA Energetikos ir elektrotechnikos instituto laboratorijos vadovas M. Lasinskas. Doc. A. Mačionis suredagavo biologinę veikalo dalį. Braižomuosius darbus atliko Vilniaus Universiteto Gamtos mokslų fakulteto inžinierius Z. Mažeika. Autorius jiems ir kitiems, prie šio veikalo pasirodymo prisidėjusiems, nuoširdžiausiai dėkoja.

K. BIELIUKAS

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий труд по озероведению возник на основе лекций, прочитанных автором на факультете естественных наук Вильнюсского государственного университета им. В. Капсукаса с 1947 по 1959 год. При подготовке труда к печати пришлось кое-что из лекций опустить, а кое-что изложить более полно и подробно, так как книга рассчитана на более широкий круг читателей, а не только на студентов. Этот труд предназначен также для лимнологов-практиков, преподавателей географии и смежных с ней дисциплин и для других читателей, любящих свою страну и вообще природу и желающих более широко и глубоко познать жизнь озера. В труде опущены те места, где затронуты сугубо специальные вопросы. Более обстоятельно изложены те места, где приходится пользоваться математическим аппаратом. Во избежание слишком большого объема книги текст пришлось дать в весьма сжатом виде.

Все же общее озероведение автор старался изложить по возможности наиболее полно, с всесторонним охватом вопросов, так как общее озероведение является основой озероведения в целом. Другие его отрасли, как региональное, или сравнительное, озероведение, прикладное и практическое озероведение, рассматриваются в конце книги весьма кратко с тем, чтобы читатель получил общее представление об озероведении и правильную перспективу для своей дальнейшей деятельности.

Во введении освещена сущность озероведения и самого озера, в первой части общего озероведения — формы озерной чаши и их происхождение, во второй — рассматриваются различные процессы, происходящие в водной массе озера, в третьей — биологические явления в озере, наконец, в четвертой — обсуждаются проблемы, связанные с ходом развития

озера. Региональная, прикладная и практическая лимнология вкратце рассматривается в заключительной части труда.

При чтении курса в высшей школе и при подготовке труда к печати автор всегда имел в виду динамичность жизни озера, взаимную зависимость между озерной чашей и скопившейся в этой чаше водной массой и связь с окружающей средой, а также связь теории с практикой, и, наоборот, практики с теорией.

Большим подспорьем в работе автора явилось сотрудничество с другими географами Литовской ССР и всего Советского Союза; большая помощь была оказана автору и Центральной библиотекой Академии наук Литовской ССР путем предоставления новейшей литературы, как советской, так и зарубежной.

В подготовке курса к печати особенно большую помощь оказали доценты Вильнюсского государственного университета им. Винцаса Капсукаса — В. Хомскис (редактор данного труда), А. Басаликас и Э. Червинскас, руководитель сектора Института геологии и географии Академии наук Литовской ССР В. Гуделис, научные сотрудники А. Гарункшис и А. Буникис, председатель Комитета по охране природы при СМ Литовской ССР В. Бергас и руководитель лаборатории Института энергетики и электротехники АН Литовской ССР М. Ласинскас. Доц. А. Мачионис является редактором биологической части труда. Чертежные работы выполнены инженером факультета естественных наук Вильнюсского университета З. Мажейкой. Автор весьма признателен вышеуказанным товарищам и всем тем, кто оказал содействие при издании этой книги.

К. БЕЛЮКАС

EŽEROTYRA ◊ EŽERAS

I. EŽEROTYRA

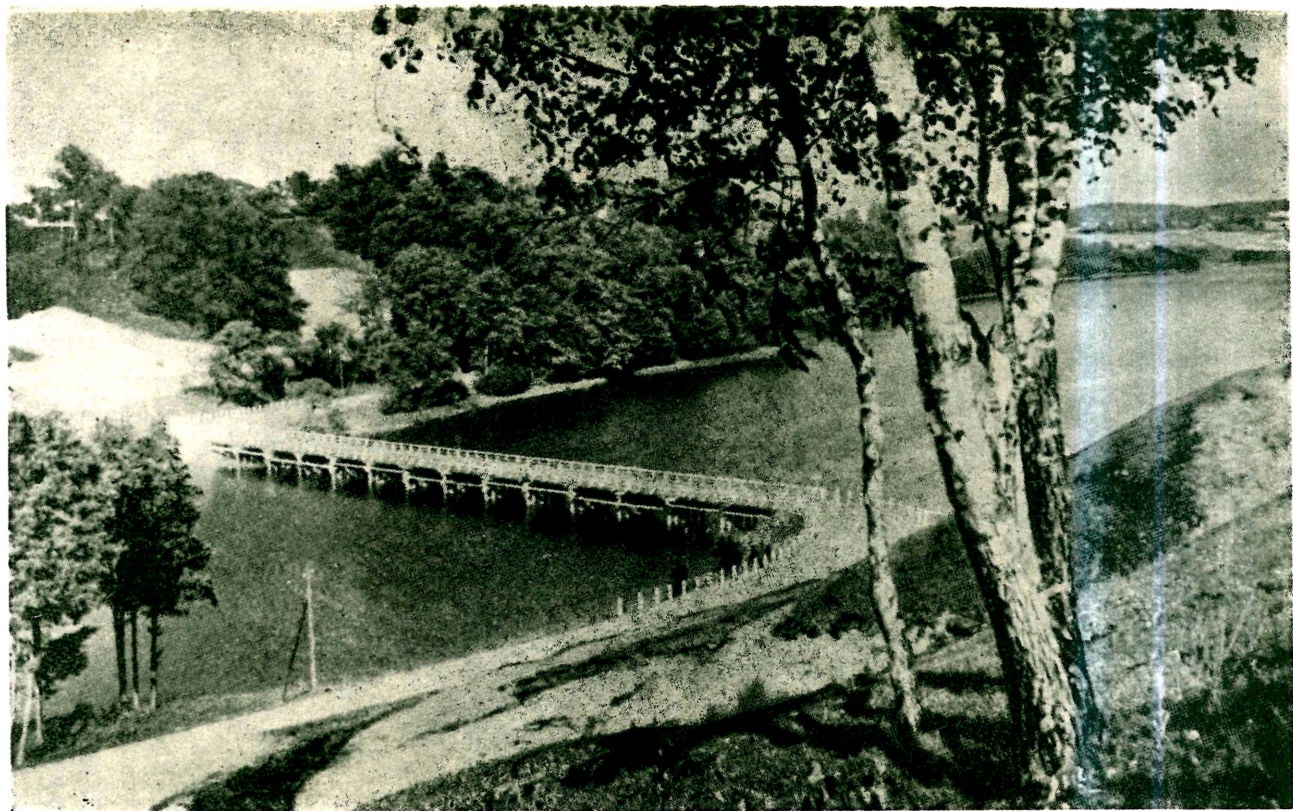
1. KAS YRA EŽEROTYRA

Lietuviškas terminas „ežerotyra“ yra graikiško termino „limnologija“ vertimas. Šių terminų sandara sakyte pasako, apie ką mes kalbėsime, atsako į klausimą: kas yra ežerotyra?

Ežerotyra, arba limnologija, yra ežerų mokslas,— mokslas apie ežerus. Ežerai yra limnologijos objektas, apie kurį ji tam tikrais metodais renka žinias ir tvarko jas, kuria sistemą, kad patogiau būtų surinktus duomenis panaudoti praktikai.

Ežerai yra labai sudėtingas gamtos reiškiny, ir juos galima tyrinėti įvairiais atžvilgiais ar iš įvairių pusių. Todėl jie traukia į save įvairių specialistų dėmesį ir todėl jie neretai tyrinėjami kompleksiskai, t. y. dalyvaujant įvairių mokslo šakų atstovams.

Ežerais domisi geografa, nes ežerai tyvuliuoja ar plyti, o neretai telkšo (negilūs ežerai) pačiame sausumos paviršiuje, kur susieina litosfera, hidrosfera, atmosfera, biosfera ir sudaro landšaftus. Tokiu būdu ežeras tampa sudėtine landšafto dalimi,— labai gražia dalimi, žmogaus akį traukiančia į save nuo senų senovės. Daug kur sausumos paviršiuje yra susidarę ištisi ežeriniai landšaftai, pavyzdžiui, Karelijoje, Suomijoje, Kanadoje. Tokių landšaftų esama ir Lietuvoje, ypačiai šiaurės rytų Lietuvoje — palei Zarasus, Molėtus, Ignaliną, Dūkštą. Antra, sausumos įdubimas, kuriame yra susitelkęs ežero vanduo, yra neigiamoji reljefo forma, o reljefo formas, teigiamąsias ir neigiamąsias, tyrinėja geomorfologai, visų pirma domėdamiesi tų formų sandara ir kilme. Tyrinėjant geomorfologiniu atžvilgiu ežerų dubenis, pasidaro būtina paleogeografijos ir geologijos pagalba.



1 pav. Dubingių ežeras,— ilgiausias Lietuvoje (be atšakų 22,5 km); daug kur panašus į upę

Ežerais, kaip stambiais vandenų telkiniais, domisi hidrologai ir juos tyrinėja šalia upių ir kitų vandens telkinių. Todėl limnologija laikoma hidrologijos šaka, tiksliau — šaka sausumos hidrologijos, kuri tyrinėja vidaus vandenį.

Ežerais domisi biologai. Jų dėmesį patraukia specifinė ežerų fauna ir flora ir tos savotiškos sąlygos, kuriose gyvieji padarai gyvena. Todėl limnologija laikoma taip pat šaka hidrobiologijos, tyrinėjančios vandenų augalus ir gyvūnus. Pavyzdžiui, F. Rutneris (Ruttner F., 1952) hidrobiologiją skaido į dvi šakas: į okeanologiją, tiriančią okeanų ir jūrų gyvybės formas, ir į limnologiją, tiriančią sausumos ar vidaus vandenų gyvybės formas. Tokios pat nuomonės laikosi ir Paulis S. Velčas (Welch P. S., 1952). Jis limnologija vadina gamtos mokslų šaką, kuri tiria vidaus vandenų biologinį produktyvumą ir tuos veiksnius, kurie tą produktyvumą apsprendžia. Laikantis tokių pažiūrų, limnologija apima ne vien ežerus (stovinčius vandenį), bet ir upes (tekančius vandenį). Be to, abu autoriai paliečia net pelkių vandenį. Hidrobiologiniu požiūriu, tai visa nuoseklu, aišku, paprasta. Bet laikantis grynai hidrologinio požiūrio, limnologija lieka tik ežerų mokslu, potamologija — upių, telmatologija — pelkių ir t. t.

Ežerais domisi ekonomistai. Aišku, jų dėmesį visų pirma patraukia įvairios žuvų rūšys, kurias jie skirsto į pilnavertes ir menkavertes, o ežerus — į turinčius verslinę reikšmę ir į tos reikšmės neturinčius.

Ekonominį, hidrobiologinį ir hidrologinį požiūrius tenka laikyti specialiais, nes jie domisi ežerais tik iš vienos kurios pusės, tik vienu kuriuo atžvilgiu. Bendruoju požiūriu liekasi geografinis, nes geografas žiūri į ežerą kaip į landšafto elementą, o į ežero dubenį — kaip į vieną geomorfologijos objektą. Taigi geografas, tyrinėdamas ežerus, paliečia visas sferas: litosferą, hidrosferą, atmosferą ir biosferą.

Mes visoje darbo eigoje jausimės geografais ir laikysimės bendrojo, t. y. geografijos, požiūrio. Susipažinę šiek tiek su ežerotyros istorija ir su ežeru apskritai, patyrinėję ežero dubenį, vandens masę, biologiją, aptarsime ežero vystymosi eigą. Pagaliau žvilgtelėsime į kitas limnologijos šakas: į regioninę ežerotyra, tiriančią atskirų regionų bei atskirus ežerus ir organiškai susijusią su hidrografija, į taikomąją ežerotyra,

besirūpinančią ekonominiu ežerų panaudojimu biologinio produktyvumo ir kitais atžvilgiais, ir į praktinę ežerotyrą, dėstančią ežerų tyrinėjimo metodiką.

2. EŽEROTYROS METODAI; PAGALBINIAI MOKSLAI

Iš to, kas ligi šiolei apie ežerotyrą sakyta, buvo galima suprasti, kad jos metodai yra tokie pat, kaip bendrai geografijos, hidrologijos ir hidrobiologijos metodai, tik specifiškai ežerams tyrinėti pritaikyti.

Mūsų ir priemonės bus tos pačios, kaip apskritai geografų priemonės, atliekant kamerinius, laboratorinius ir lauko darbus. Kai kurias paminėsime: žemėlapius, ypačiai hidrografinius, ir planus, ypačiai batimetrinius, t. y. gylių, planus ir kt. Šias priemones paminėdami, kartu iškeliamo kartografijos ir geodezijos reikšmę ežerotyrai.

Ežerų esama labai didelių ir gilių, todėl vadinamų jūromis. Ryškiausias pavyzdys — Kaspijos jūra ir Aralo jūra. Labai didelis Baikalo ežeras ir daugelis kitų pasaulio ežerų. Ežeras apskritai šiek tiek panašus į jūrą. Tai nenuostabu, kad limnologai vartoja daug metodų ir prietaisų, panašių į okeanologų vartojamus. Kai kurie okeanologai dėl to limnologiją palaikė okeanologijos šaka. Su tuo sutikti neleidžia ežero gyvenimo ir jam tirti vartojamų prietaisų bei metodų pritaikymo specifiškumas. Tie metodai ir prietaisai visuomet panašūs, bet ne visuomet tie patys.

Nekalbant apie geografiją, geologiją, geomorfologiją, klimatologiją, hidrologiją, biologiją, ekonomiką, iš kitų limnologijai negiminingų mokslų ypatingai svarbios matematikos, fizikos ir chemijos žinios, ypačiai liečiančios vandenį ir jo savybės: tankį, temperatūrą, mineralingumą, klampumą.

Šie keli žodžiai apie ežerotyros metodus ir priemones iškelia klausimą: kiek ežerotyra, kaip mokslas, savarankiška?

Hidrobiologui ežerotyra yra hidrobiologijos šaka, betgi savarankiška šaka, nes tiria specifiškus gyvus padarus specifiškose sąlygose ir toms sąlygoms specialiais pritaikytais metodais.

Hidrologui ežerotyra yra hidrologijos šaka,— savarankiška šaka, nes objekto atžvilgiu specifiška ir reikalaujanti specifiškų

metodų ir prietaisų. Net okeanologijos metodai ir prietaisai reikalauja specialaus pritaikymo.

Geografui ežerotyra — fizinės geografijos skyrius, turįs savo objektą — ežerą ir jam tirti specifiškai pritaikytus metodus. Kitų sričių specialistai tiria kurį nors vieną ežero komponentą. Geografas domisi visais, o svarbiausia — jų sąsaja: tuo, kaip jie vienas kitą veikia, vienas kitą sąlygoja.

3. IŠ EŽEROTYROS ISTORIJOS

a) Ežerotyros vystymosi pradžia ir žymiausieji įvairių šalių limnologai

Limnologija, kaip ir kiekvienas kitas mokslas, yra kilusi iš praktikos, iš gyvenimo, iš reikalo. Vanduo — būtinas gyvenime gamtos gaivalas. Todėl žmonės daugiausia ir spiedavosi prie upių, prie ežerų. Taigi ežerais buvo domimasi, jų vandeniu naudojamosi, juose žuvis gaudomos nuo senų senovės. Senų senovėje net trobesiai būdavo statomi ežeruose ant polių.

Tačiau limnologija išsikristalizavo tik XIX šimtmečio antroje pusėje. Jos pagrindėju laikomas Šveicarijos gamtininkas Fransua Alfonsas Forelis (F. A. Forel), gimęs 1841 m. vasario 2 d. Morže, Vaadto kantone, miręs 1912 m. rugpiūčio 8 d. Berne. Jis 1869—1895 m. buvo profesoriumi Lozanoje. Tyrinėjo ledynus, žemės drebėjimus ir ežerus, ypačiai Ženevos ežerą. 1869 m. pasirodė pirmasis Forelio limnologinis spausdintas darbas; 1886 m. jis išleido ežerams tyrinėti instrukciją. 1892 m. buvo išspausdintos monografijos apie Ženevos ežerą, pavadintos „Le Léman“, I tomas, o 1895 m.— II ir 1901 m.— III.

1901 m. Forelis parašė pirmą sistemingą bendrosios limnologijos kursą „Handbuch der Seenkunde“ (rusiškai jo vertimas pasirodė 1912 m.). Tai klasiškas kursas, nemaža dalimi nestojęs reikšmės ir šiandien. Pažymėtina, kad Forelis savo limnologijos kurse kreipė ypatingą dėmesį į ežero biologiją, skirdamas šiam aspektui labai daug vietos. Forelis savo veikaluose parodė pavyzdį, kaip turi būti tyrinėjami ežerai, ir paskatino įvairių šalių gamtininkus rimčiau susidomėti savo šalies ežerais.

Forelis bendravo su Rusijos hidrologais-limnologais, ypačiai su D. N. Anučinu, ir buvo Rusų imperatoriškosios geografo

draugijos narys-korespondentas. Kai 1904 m. antru kartu buvo leidžiamas Forelio instrukcijos ežerams tyrinėti vertimas, jis pats tą vertimą peržiūrėjo ir ištaisė.

Šalia Forelio kitų užsienio limnologų tarpe pažymėtini A. Penkas. (Penck A., 1894) ir K. Poikeris (Peucker K., 1890, 1896). Abu juodu toli pastūmėjo į priekį ežero morfometriją.

Įvairių regionų, arba lyginamajai, limnologijai svarbūs V. Halbfaso (Halbfass W., 1922, 1923) ir Leono V. Kole



2 pav. F. A. Forelis (1841–1912).

(Collet Leon W., 1925) darbai. Labai svarbius ežerų dinamikos tyrinėjimus atliko V. Šmidtas (Schmidt W., 1917) ir E. A. Berdžas (Birge E. A., 1922). Berdžas drauge su Č. Džudėju (Juday Ch.) tyrinėjo Viskonsino ežerus (JAV), o Šmidtas — Alpėse.

Ežero biologijai reikšmingi A. Tynemano (Thienemann A., 1925) ir E. Naumano (Naumann E., 1930) darbai. Juodu sukūrė biologinę (trofinę) ežerų klasifikaciją. Ežero biologijai taip pat labai reikšmingi F. Lenco (Lenz F., 1928), V. Brėmo (Brehm W., 1930) ir F. Rutnerio (Ruttner F., 1952) veikalai.

Visų šalių limnologų labai vertinami Paulio S. Velčo (Welch Paul S., 1952) ir G. E. Hatčinsono (Hutchinson G. Evelyn, 1957) ežerotyros kursai ar traktatai.

Pirmaisiais ežerotyros kūrėjais Rusijoje buvo A. I. Vojeikovas (1884), D. N. Anučinas (1896) ir L. S. Bergas (1908). Jų nuopelnai nušviesti tolesniame skyrelyje.

Iš tarybinių autorių naujausių veikalų pažymėtini B. B. Bogoslovskio ir S. D. Muraveiskio «Очерки по озераведению» ir tuo pačiu pavadinimu B. D. Zaikovo (abu veikalai išleisti 1955 m.). 1960 m. pasirodė Zaikovo veikalo II dalis ir Bogoslovskio ežerotyros kursas «Озераведение».

Pagrindinius ežerotyros bruožus yra sistemingai pateikę savo darbuose A. N. Lipinas (1950) ir S. G. Lepniova (1950).

Ežero morfometrijai labai vertingi G. J. VereščiaGINO (1930) ir S. D. Muraveiskio (1948) darbai.

b) Ežerotyros vystymasis Tarybų Sąjungoje

Kaip visur žemės paviršiuje, taip ir Tarybų Sąjungos užimamoje teritorijoje ežerais seniai domimasi: gėluosiuose buvo gaudomos žuvys, iš sūriųjų buvo imama druska. Jau XV šimtmetyje (1498 m.) „Naugardo raštininkų knygoje“ pateikiami duomenys apie ežerus ir apie „baltąją“ ir „raudonąją“ žuvį, besiveisiančią tuose ežeruose. Senuose metraščiuose esama žinių apie druskos gavybą iš ežerų arba aprašymų, kur ežerai traktuojami, kaip susisiekimo ir transporto keliai. Čia reikia prisiminti „Knygą Didžiajam brėžiniui“, XVI a. Moskovijos žemėlpio tekstinį aprašymą.

Rusų mokslininkai labai daug prisidėjo prie ežerotyros išvystymo ir įdėjo į ją vertingą indėlį. Visuose ežerotyros vystymosi etapuose jie kaupė gausią lauko darbų metu surinktą medžiagą, ją dorojo, kūrė mokslines teorines koncepcijas. Plačiai panaudodavo ir kitų šalių mokslo patyrimą. Ežerotyros vystymasis neatskiriamai susietas su A. I. Vojeikovo, D. N. Anučino, L. S. Bergo, A. P. Andrejevo, G. J. VereščiaGINO, I. V. Molčianovo, N. F. Domračiovo, V. K. Davidovo, L. L. Rosolimo, S. D. Muraveiskio, S. V. Grigorjevo ir su daugelio kitų rusų mokslininkų vardais.

Sisteminant duomenis, ežerotyros istoriją Tarybų Sąjungos užimamoje teritorijoje galima suskaidyti į tris laikotarpius, kurie skiriasi vienas nuo kito ežerų liaudies ūkiui reikšmingumo atžvilgiu, o taip pat ir tyrimų metodais, apimtimi, kryptimi ir rezultatais.

Pirmojo laikotarpio pradžios datą nurodyti neįmanoma. Jis truko ligi XIX šimtmečio paskutiniojo dešimtmečio pradžios, kada ežerotyra išaugo į atskirą mokslą ir kada pradėjo veikti pirmosios limnologinės stotys.

Antrasis laikotarpis truko nuo XIX šimtmečio paskutiniojo dešimtmečio pradžios ligi Didžiosios Spalio socialistinės revoliucijos.

Trečiasis laikotarpis — po Didžiosios Spalio socialistinės revoliucijos.

Pirmasis laikotarpis atitinka feodalinį ir ankstyvąjį pofeodalinį istorijos periodą, antrasis — kapitalizmo išsivystymo laikotarpį, o trečiasis — socialistinės santvarkos metą.

*

Pirmajame laikotarpyje ežerotyros vystymąsi stimuliavo žvejyba (vėliau ir žuvininkystė), taip pat ir druskos gavyba, o laikotarpio pabalsoje — ir transportas vandenimis.

Tyrimai buvo vykdomi dviem kryptim:

1) hidrobiologine (atskirų ežerų floros ir faunos tyrimai, vandeninių organizmų paplitimo dėsningumo išryškinimas) ir

2) geografinė-hidrografine (bendrasis ežerų aprašymas, pirmieji vandens masės stebėjimai ir matavimai, atskirų režimo elementų tyrimai).

Nuo antrosios XIX šimtmečio pusės buvo pradėti hidrocheminiai tyrimai sūriuosiuose ežeruose.

Šiam laikotarpiui būdingas yra faktinės medžiagos, surinktos lauke, kaupimas, atskirų monografijų apie stambius ežerus pasirodymas, atskirų hidrologinio ir biologinio režimo elementų nagrinėjimas.

Ežerų tyrimai pradžioje neturėjo sisteminio pobūdžio: ežerai bendrai būdavo aprašomi be jokios detalizacijos, arba būdavo nušviečiamos atskiros režimo detalės. Akademikas P. S. Palasas XVIII šimtmečio aštuntame dešimtmetyje pateikė duomenų apie Baikalo ežero fauną, o akademikas N. J. Ozereckovskis 1792—1817 m. — pirmąsias mokslines žinias apie Ladogos, Onegos ir kitus Baltijos baseino ežerus.

Reikia pastebėti, kad didesnioji dalis ežerų tyrinėjimų buvo atlikta, tiriant teritorijas geografiniu požiūriu apskritai. Taip buvo ištirtas Isik-kulio ežeras (P. P. Semionovas, 1856 m.), Zaisano ežeras (G. N. Potaninas, 1863—1864 m.), Eltono ir Baskunčiako ežerai (A. P. Fedčenko, 1870 m.). Siekiant nušviesti ežerų režimą ir išryškinti jų panaudojimo galimumus, imta organizuoti specialias ekspedicijas.

Po darbų, atliktų 1854—1857 metais, N. Stabrovskis pirmą kartą konstatavo seišas Onegos ežere ir iškėlė visą eilę vertingų minčių apie bangų režimą*.

Didžiulę reikšmę turėjo vadovaujamos A. P. Andrejevo ekspedicijos į Ladogos ežerą (1858—1873 m.) ir į Onegos ežerą (1874—1894 m.). Atlikęs šiuos tyrimus, Andrejevas išleido monografiją «Ладожское озеро», kurios atskiros dalys nenustojo reikšmės ir ligi šiol. Andrejevas taip pat sudarė Ladogos ežero žemėlapi.

1858 m. išleista hidrometrinių stebėjimų reikalu instrukcija.

Norint smulkiai išnagrinėti atskirų ežerų režimą ir nustatyti bendrą vykstančių ežeruose procesų dėsningumą, būtinai reikia ilgalaikių stebėjimų. Tokie stebėjimai būdavo atliekami pirmajame ežerotyros istorijos laikotarpyje ir, jais remiantis, buvo padėti pagrindai ežerotyros teorijai. Buvo naudojamosi Forelio darbai, jo ežerotyros metodika ir teorija, taip pat ežerams tirti programa, jo sudaryta 1886 m.

Svarbūs buvo ežerotyros teorijos vystymuisi ir Baikalo ežero studijoms lenkų tremtinių B. I. Dibovskio ir V. Godlevskio atlikti tyrimai (1867—1869 ir 1875—1876 m.).

Pirmieji hidrometriniai stebėjimai buvo atlikti Ladogos ežere 1724 m., kai buvo kasami Senieji Ladogos kanalai. Kaspijos jūroje hidrometriniai stebėjimai buvo atliekami nuo 1830 m., Seligerio ežere — nuo 1847 m., Ilmenio — nuo 1881 m., Baikalo — nuo 1886 m.; žinių apie maksimalius Aralo jūros lygius turima nuo 1843 m.

Pačioje laikotarpio pabaigoje iškilo mintis organizuoti pastovias limnologines stotis, bet ši mintis buvo realizuota tik vėlesniame periode (po 1890 m.).

Pirmos kilnojamosios limnologinės stotys buvo suorganizuotos 1888 m. Kosino ežeruose (palei Maskvą). Organizavo Maskvos Gamtos mokslų, antropologijos ir etnografijos mėgėjų draugijos zoologijos skyrius.

1884 m. išspausdintas A. I. Vojeikovo veikalas apie žemės rutulio, ypačiai Rusijos, klimatus, kuriame aiškiai nušviestas ežerų paviršiaus lygio svyravimų sąsąjys su vandens balansu, net duota vandens balanso lygtis. Šis veikalas įgalino į vidaus vandenį žiūrėti kaip į klimato funkciją.

* Seišos — visos ežero vandens masės siūbavimas, stovimas bangavimas.

1885 m. Tarptautiniame geografų kongrese Londone limnologijos ir jos uždavinių klausimais kalbėjo F. A. Forelis ir D. N. Anučas. Galima manyti, kad kaip tik tais metais limnologija susiformavo į atskirą sausumos hidrologijos mokslo šaką.

Antrajame laikotarpyje išplito liaudies ūkio uždaviniai, skatinantieji ežerotyros vystymąsi: plačiau buvo keliami vandens, transporto, žvejybos, žuvininkystės, druskos gavybos klausimai. Žuvininkystė ir naujų žuvų rūšių aklimatizacija buvo vis sėkmingesnės, efektyvesnės.

Iškilo reikalas moksliskai pagrįsti mineralinių purvų panaudojimą terapijoje. Daugeliui rajonų reikėjo apsirūpinti vandeniu iš ežerų. Iškilo,— tiesa, neintensyviai,— ežerų kaip hidroenergetinio šaltinio panaudojimo klausimai. Siekiant pajungti upių energiją, pradėta kurti dirbtinius ežerus — tvenkinius.

Išplito ekspediciniai atskirų stambių ežerų (Aralo jūros, Sevano, Onegos ir kt.) bei ežerų grupių (Volgos aukštupio, Karelijos ir kitų ežerų) tyrinėjimai. Didėjo tyrimų kompleksiskumas: jie buvo vykdomi vis didesnio skaičiaus ir įvairesnių mokslo sričių specialistų. Tyrinėtojai, dorodami sukaupą medžiagą, apibendrindami ją, sukūrė visą eilę monografijų ir teorinių darbų apie ežerų režimą. Pasirodė darbų apie ežerų vandens masės dinamiką. Buvo steigiamos limnologinės stotys ir atliekami jose stacionariniai stebėjimai. Daugelyje ežerų buvo atliekami reguliarūs hidrometeorologiniai stebėjimai.

Reikšmingiausiais to laikotarpio tyrinėjimais reikia laikyti: L. S. Bergo — Aralo jūroje (1900—1902 m.) ir Isik-kulio ežere (1904 m.), D. N. Anučino — Volgos aukštupio ežeruose (1894—1896 m.), E. S. Markovo — Sevano ežere (1894—1895 m.), V. N. Lebedevo — Kamčiatkos ežeruose (1908—1909 m.), A. A. Lebedincevo — Kaspijos jūroje (1897, 1904 m.).



3 pav. D. N. Anučinas (1843—1923)

1896 m. pasirodė D. N. Anučino darbas «Воды суши. Озера», kuriame jis susumavo visus ežerų tyrimus tiek Rusijos imperijoje, tiek užsienyje, plačiai panaudojo savo stebėjimų rezultatus ir, apžvelgęs ežerų režimo elementus, ežerus apibūdino kaip landšafto elementus, susijusius su supančia aplinka: aplinka sudaro ir veikia ežerą, o ežeras savo ruožtu veikia aplinką. Platus geografiškas požiūris į ežerų tyrimą yra būdingas Anučino darbams, kurie nusmaigstė gaires kitų rusų limnologų veiklai. Forelio ir Anučino darbai suvaidino milžinišką vaidmenį ežerotyros evoliucijoje ir nustatė tolesnių tyrimų kryptį.

Susidomėsime viena kita biografine žinia apie šią kilnią, gabią ir veiklią asmenybę. D. N. Anučinas gimė 1843 m., mirė 1923 m. Jis buvo pirmas geografijos profesorius Rusijoje, sukūrė geografijos muziejų ir Maskvos universiteto Geografijos institutą, įsteigė ir daug metų redagavo geografijos žurnalą «Землеведение», parašė daug mokslo ir mokslo populiarizacijos darbų geografijos srityje. Teisingai D. N. Anučinas laikomas akademinės geografijos Rusijoje pradininku. D. N. Anučinas darbavo ne tik geografijos, bet ir archeologijos, etnografijos ir antropologijos srityse. Ir šiose srityse jo nuopelnai nemaži. Daugiausia jo pastangomis archeologija ir etnografija tapo akademinėmis disciplinomis. Žymia dalimi jis prisidėjo prie antropologinės parodos rengimo 1879 m., o po to jis suorganizavo prie Maskvos universiteto antropologijos muziejų.

Visa eilė monografijų apie atskirus ežerus ir ežerynus, parašytų antrajame laikotarpyje, siekė žymiai daugiau, negu to reikėjo regioniniams tyrimams: tose monografijose buvo keliami ir sprendžiami bendri teoriniai ežerotyros klausimai. Paminėtinos tokios klasiškos monografijos: L. S. Bergo apie Aralo jūrą (1908 m.); E. S. Markovo apie Gokčos (Sevano) ežerą (1911 m.); D. N. Anučino apie Volgos ir Dauguvos aukštupio ežerus (1898 m.). Hidrocheminiai A. A. Lebedincevo darbai apie Kaspijos jūrą nušvietė eilę ežerų vandens chemizmo ypatybių.

Ir užsienyje, ir Rusijoje antruoju laikotarpiu dominavo biologinė kryptis. Tiek užsienyje, tiek Rusijoje buvo domimasi taip pat ežero dinamika, jo vandenų sąmaiša.

Svarbiausias ežerotyros išsivystymo etapas — tai pirmųjų gėlųjų vandenų limnologinių stočių organizavimas. Tos stotys

ilgainiui virto eksperimentinių ir teorinių darbų centrais ir ekspedicijų bazėmis.

1891 m. Maskvos Gamtos mokslų, antropologijos ir etnografijos mėgėjų draugijos zoologijos skyrius įsteigė pirmą hidrologinę gėlyjų vandenų stotį prie ežero Glubokoje (Maskvos srityje). Jos steigėjas — N. J. Zografas, o pirmasis vedėjas — S. A. Zernovas. Tokios pat stotys tuo metu buvo įsteigtos Vokietijoje ir Suomijoje. 1896 m. biologinė (vėliau limnologinė) stotis buvo įsteigta Kosine (palei Maskvą). Tais pačiais metais prof. S. P. Borodinas įsteigė stotį prie ežero Bologovskoje (Naugardo gubernijoje), kuri buvo pavadinta Borodino stotimi ir 1906 m. perkelta prie Seligerio ežero. Hidrometriniai stebėjimai ežeruose plačiai buvo vystomi šį antrąjį laikotarpį pagal bendrą hidrometeorologinio tinklo organizavimo planą.

Trečiajame laikotarpyje ežerotyroje įsigali hidrologinė ir dinaminė kryptys. Tiriant ežerus čia pagrindu imama ežero vandens masės judėjimo ir transformavimosi analizė ir dubenų kitimas. Šias kryptis Tarybų Sąjungoje skatina vystyti hidrologinė statyba, sausumos vandenų pertvarkymas ir jų kompleksinis panaudojimas.

Tarybų Sąjungoje, nuo pat jos gyvavimo pradžios, ežerotyrai iškilo visa eilė visišškai naujų uždavinių, nes liaudies ūkis pareikalavo planingai ir kompleksiskai panaudoti ežerus, reguliuoti nuotėkį ir jį plačiai panaudoti energetikai, kuriant gana stambius tvenkinius ir statant elektros hidrostatas. Pirmaisiais tarybinės santvarkos metais organizuojamos ežerams tirti ekspedicijos (1918 m. Oloneco ekspedicija, G. J. Vereščagin vadovaujama). 1919 m. buvo suorganizuotas Valstybinis hidrologinis institutas, kurio dėka ežerų tyrinėjimai buvo centralizuoti. Tarybų Sąjungos teritorijos ežerai buvo pradėti planingiau tirti. Žinoma, visų pirma buvo kreipiamas dėmesys į pačius didžiuosius ežerus ir ežerynus: tiriamas Ilmenio ežeras (1924—1927 m.), nes to reikalavo Volchovo HES statyba; be to, Onegos ežerą tyrinėjo (1924—1932 m.) I. V. Molčianovas, S. A. Sovetovas, N. P. Predtečenskis, V. A. Tolmačiovas; Ladogos ežerą (1927—1933 m.) — I. V. Molčianovas ir kt.; Čiudės (estiškai Peipsi) ir Pskovo ežerus (1929 m.) — N. F. Domračiovas; Leningrado srities ežerus (1929—1932 m.), Aralo jūrą (1926 m.) ir Isik-

kulio ežerą (1925 m.) tyrinėjo grupė, vadovaujama L. S. Ber-go; Naujosios Žemės ežerus (1925—1927 m.) — K r e p s a s ir U š a k o v a s; Teleckoje ežerą ir kitus Altajaus ežerus (1928—1931 m.) — S. G. L e p n i o v a, O. A. A l e k i n a s ir kt.; Ja-kutijos ežerus (1932 m.) — N. I. S e m i o n o v i č i u s ir kt.; Baikalo ežerą (nuo 1925 m.) — G. J. V e r e š č i a g i n a s. Tuo metu buvo tyrinėjama ir daugelis kitų ežerų.

Gausi medžiaga, daugiau kaip per 20 metų įvairių ekspedi-cijų surinkta, yra apdorota, apibendrinta ir išleista atskirų mo-nografijų pavidalu, paskelbta įvairių mokslinių tiriamųjų įstai-gų darbuose, o taip pat Valstybinio hidrologinio instituto leidi-puje «Исследования озер СССР». 1941 m. TSRS Liaudies Komisarų Taryba nutarė išleisti Tarybų Sąjungos vandenų kadastrą. Medžiagos apie Tarybų Sąjungos ežerus nemaža dalis pateko į žinynus apie Tarybų Sąjungos vandenų resursus. Be to, buvo parengtas ežerų kadastras.

Plačiai išsivystė limnologinių stočių darbas: tęsė darbą Glu-bokoje ir Kosino limnologinės stotys; 1921 m. atnaujino darbą, nutrauktą 1917 m., perkelta į Kareliją Borodino stotis; 1926 m. buvo organizuotas Sevano hidrometeorologinis biuras, vado-vaujamas V. K. Davidovo; 1928 m. įsteigta Baikalo limnologinė stotis (G. J. Vereščiginas). 1931 m. buvo organizuota Karelijos mokslinė tiriamoji žuvų ūkio stotis Petrozavodske. Ežero nuo-sėdoms tirti dar 1919 m. suorganizuota Tarybų Sąjungos Moks-lų Akademijoje sapropelinė komisija ir sapropelinė stotis Msti-no ežero baseine*. Didžiausią reikšmę ežerotyros vystymuisi turėjo Kosino stoties darbai (vedėjas L. L. Rosolimas). Ši sto-tis vykdė ne tik stacionarinius darbus, bet ir ekspedicinius (į Valdajaus regioną, į Meščerės žemumą ir į kitas vietas). La-bai reikšmingus darbus atliko Glubokoje ežero stotis (G. S. Kar-zinkinas, A. P. Ščerbakovas, S. I. Kuznecovas, S. D. Muraveis-kis ir kt.), Baikalo stotis (vedėjas G. J. Vereščiginas) ir Se-vano hidrometeorologinis biuras, kur buvo plačiai tiriamas van-denų balansas. Stotyse susiformavo limnologų kadrai, susikūrė ežerotyros tarybinė mokykla.

Ežerotyros vystymąsi reikšmingai paveikė Tarptautinio lim-nologų susivienijimo organizacija (1921—1922 m.). Ežerotyros

* S a p r o p e l i s — tai bestruktūris organinės kilmės ežeruose besi-kaupias dumblas, turintis mažai mineralinių priemaišų. S a p r o p e l i -tai — suketiję sapropeliai.

klausimai plačiai buvo nagrinėjami I ir II hidrologų suvažiavimuose Leningrade (1924 ir 1928 m.) ir IV Baltijos šalių hidrologų konferencijoje (1933 m.).

Paskutiniaisiais dešimtmečiais Tarybų Sąjungoje darbai ežerotyros srityje įgavo naują kryptį, nes to pareikalavo stambių tvenkinių projektavimas. Tvenkinių režimo tyrimui ir to režimo prognozės nustatymui reikėjo panaudoti ne tik sukauptą ežerotyros srityje medžiagą ir ežerotyroje taikomus metodus, bet ir sukurti naują specifinę metodiką ir nagrinėti klausimus, kurie ligi šiolei ežerotyroje buvo beveik nepaliesti.

Siekiant nustatyti tvenkinių režimo prognozę, juose tiriamas bangavimo režimas, krantų deformavimas, uždumblėjimas, vandens balansas, tobulinama tyrimų, apskaičiavimų ir prognozių metodika.

Besidomint dirbtiniais, nepamirštami ir natūraliai susidareę ežerai. 1950—1955 m. buvo intensyviai kompleksiskai tiriami Baikalo, Balchašo, Sevano ir kiti ežerai.

Visiems tiems tyrinėjimams ir apskritai ežerotyros teorijos vystymuisi didžiulę reikšmę turi darbai S. D. Muraveiskio, kuris išnagrinėjo ne tik visą eilę atskirų problemų (morfometrija, cheminio režimo prognozė, vandenų sąmaiša), bet pirmas ir teoriškai nušvietė nuotėkio procesą ir atskirų vandens objektų vaidmenį jame.

Reikia pažymėti ir V. B. Štokmano teorinius darbus, kurie yra svarbūs, tyrinėjant vėjinę vandens cirkuliaciją.

1957 m. įvyko III Visasąjunginis hidrologų suvažiavimas, kuriame limnologų darbams buvo skiriama daug dėmesio.

Tarpe įstaigų, kurios Tarybų Sąjungoje darbuojasi ežerotyros srityje, visų pirma minėtinos: Valstybinis hidrologinis institutas, TSRS Mokslų Akademijos Ežerotyros laboratorija, TSRS MA Baikalo limnologinė stotis, Kūdrų ir ežerų žuvų ūkio insti-



4 pav. S. D. Muraveiskis
(1894—1950)

tutas, TSRS MA halurgijos (druskos gavybos) institutas. Be to, natūralių ir dirbtinių ežerų režimą tiria daug mokslinių tiriamųjų institutų, projektavimo organizacijų ir įstaigų, susijusių su žuvų ūkiu, vandens keliais ir hidrotechnika. Ežerotyros kursai skaitomi universitetų geografijos fakultetuose ir hidrometeorologiniuose institutuose.

*

Ežerotyros vystymasis Lietuvoje turi savo specifiką. Todėl atskirai reikia pakalbėti apie ežerotyros istoriją Lietuvoje.

Žinoma, ir Lietuvoje ežerais buvo domimasi nuo senų senovės.

Kęstučio pilies griuvėsiai tarp Trakų grupės ežerų ir Vytauto pilies griuvėsiai tos grupės vieno ežero, būtent Galvės, saloje rodo, kad ežerai buvo panaudojami ir gynybos reikams. Gynybai buvo panaudoti ir Platielių, Dubingių, Drūkšių ir kiti ežerai.

Tačiau mokslškai susidomėta Lietuvos ežerais tik maždaug prieš šimtą metų, feodaliniam istorijos laikotarpiui besibaigiant. Tai liudija 1861 m. išleista Kauno ir Vilniaus gubernijų statistika ir 1863 m.— Gardino gubernijos statistika. Jose randame duomenų apie tų gubernijų didesnius ežerus. Kai kurių ežerų čia nurodytas ilgis, plotis ir net gylis.

1899 m. J. R a d z i u k y n a s trumpai, bet turiningai aprašė Dusios ežerą. Autorius palietė ežero morfologiją ir morfometriją, florą, fauną, žvejybą. Ežero perimetrą ir ilgį nurodė gana tiksliai, o didžiausią plotį ir didžiausią gylį — per daug didelius. Įdomu, kad, šio autoriaus žiniomis, Dusios ežeras išmesdavęs gintaro.

1902 metais S t a n e v i č i u s aprašė žuvų ir vėžių ūkius Lietuvoje ir pateikė apžvalginių žinių apie didesnius Vilniaus ir Kauno gubernijos ežerus.

Tais pačiais 1902 metais Povilas M a t u l i o n i s sudarė plakatą „Žuvų kalendorių“ su rusišku ir lietuvišku tekstu. Žuvų pavadinimai duoti rusų, lenkų, lietuvių ir lotynų kalbomis. Pažymėtos 38 žuvų rūšys. Nurodytas neršimo laikas ir leistinių gaudyti žuvų mažiausias dydis.

Plačiau Lietuvos ežerai buvo tiriami 1904 metų vasarą. Tada Maskvos universiteto profesorius Z o g r a f a s suruošė

ekspediciją į Vilniaus, Kauno ir Gardino gubernijų ežerus. Ekspedicijos tikslas buvo aprašyti tų gubernijų ežerus žuvų ūkio atžvilgiu. Bet ekspedicijos dalyvių išleistose apyskaitose randame ne tik žinių apie žuvų ūkį, bet ir specialesnių limnologinių žinių. Pavyzdžiui, Chmielevskis savo darbų apyskaitose duoda trumpus Žemaičių ežerų aprašymus, pateikdamas morfologinių ir morfometrinių duomenų apie Platelių, Masčio, Biržulio, Plinkšės, Tausalo ir kitus ežerus. Taip pat pats Zografas, aprašydamas Trakų, Švenčionių ir Gardino apskričių kai kuriuos ežerus, šalia žuvų ūkį liečiančių žinių, duoda dar trumpas tų ežerų morfologines ir morfometrines charakteristikas. Kiti šios ekspedicijos dalyviai lietė beveik išimtinai tik žuvų ūkį.

Prof. Zografo ekspedicija Kauno gubernijoje tyrinėjo 23 ežerus, Vilniaus — 143 ir Gardino — 13 ežerų. Ekspedicijos dalyviai savo apyskaitose duoda žinių ir apie tuos ežerus, kurių jie tiesioginiu būdu netyrinėjo, bet apie kuriuos jie parinko žinių iš vietos gyventojų. Tokių ežerų apyskaitose suminėta kelios dešimtys.

1909 metų liepos mėnesį M. A. Pavlovskis išmatavo Drūkšių ežero gylį ir patyrinėjo šį ežerą faunos ir floros atžvilgiu. 1913 m. V. Šukevičius rašė taip pat apie Drūkšių ežerą, pasinaudodamas Pavlovskio duomenimis.

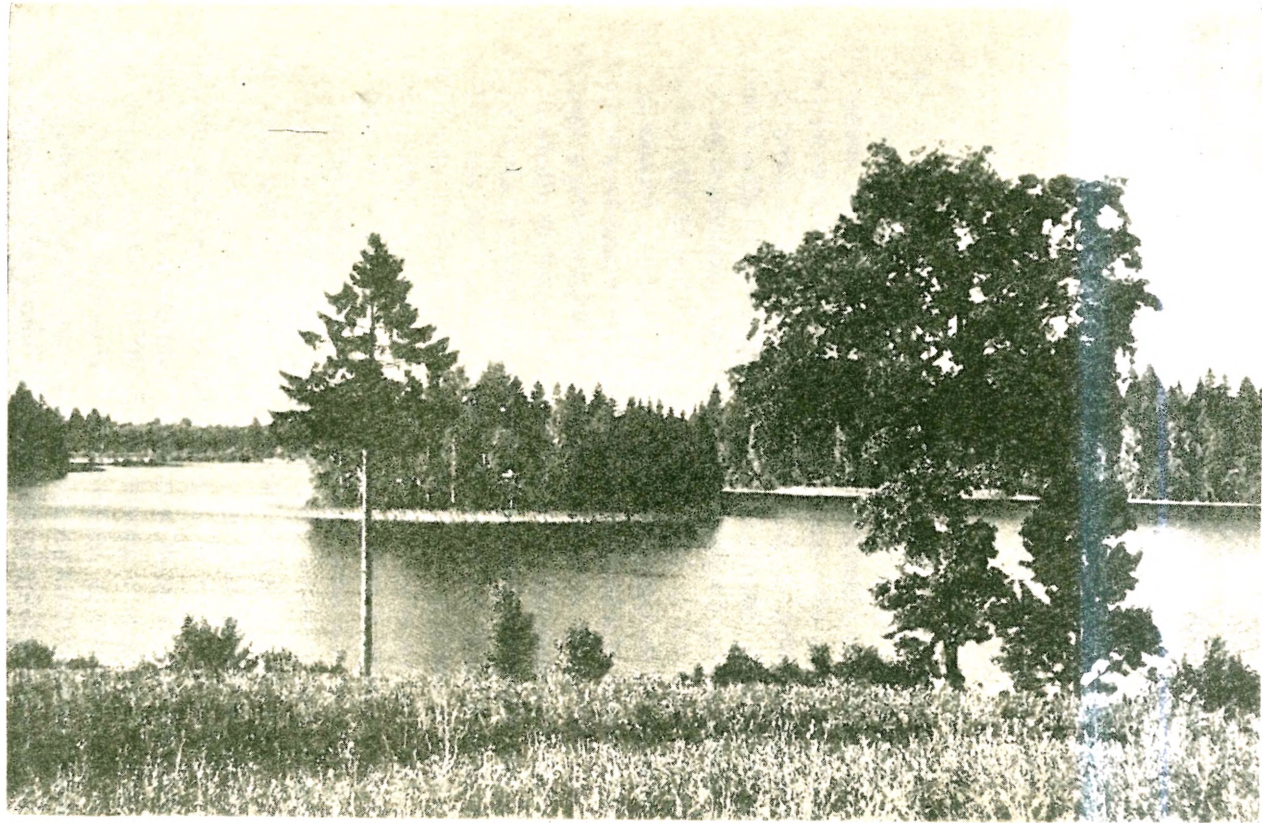
L. I. Cimbalkos 1918 m. paskelbtuose Baltijos jūros baseino vidaus vandens kelių aprašymuose randame trumpų žinių apie Ventos—Dubysos baseinų kai kuriuos ežerus.

Taigi ligi pirmojo pasaulinio karo žinios apie Lietuvos ežerus buvo negausios. Šiek tiek jos gausesnės pasidarė po pirmojo pasaulinio karo, kai Lietuvos ežerai imta tyrinėti sistemingiau.

Lenkų okupuotoje Lietuvos dalyje, Vilniaus krašte, Vitoldas Slavinskis 1924 m. aprašė floros atžvilgiu Riešės baseino Žaliuosius ežerus ir davė trumpą limnologinę apžvalgą.

1925 m. H. Garlikovska išleido Vilniaus krašto ežerų statistiką, kurioje nurodyta ežerų pavadinimai, altitudės, plotai.

Pažymėtini taip pat ir Trakų grupės ežerų tyrinėjimai: Galvės, Skaisčio, Akmenos, Totoriškių, Bernardinų ir kitų, mažesnių. Batimetriniai darbai didžiuosiuose Trakų grupės ežeruose atlikti R. Kongoelio ir E. Rakovskio 1928 m. Trakų grupės ežerai M. Znamierovskos-Priufarovos



5 pav. Platelių ežeras — visai kito tipo negu Dubingių (žr. 1 pav.)

aprašyti ir žuvų ūkio atžvilgiu (daugiausia domimasi žuvų gaudymo priemonėmis).

Lietuvos buržuazijos valdomoje teritorijoje batimetriniai darbai pradėti 1926 m. liepos mėnesį didžiuosiuose Sūduvos ežeruose: Dusios, Metelio, Obelijos. Tuo pačiu metu šie ežerai imta tyrinėti ir floros atžvilgiu. Tais pačiais, t. y. 1926 metais, buvo patyrinėtas ir Sartų ežeras morfometriniu, floros ir faunos atžvilgiais.

1933 m. kovo mėnesį Kauno Universiteto Geografijos katedros personalas, studentų padedamas, išmatavo Tauragnų, Labės ir Labelės ežerus; 1934 m. kovo mėnesį iš naujo nuo ledo išmatavo didžiausio Sūduvos ežero — Dusios gylį; be to, tų pačių 1934 metų birželio mėnesį buvo išmatuotas Grabestos ežeras Ukmergės apskrityje, o rugsėjo mėnesį Ilgio ežeras Alytaus apskrityje; 1935 m. kovo mėnesį Lietuvoje ežeringiausioje Zarasų apskrityje atliko batimetrinius darbus 13 ežerų: Vensavų, Jatkūniškių, Švento, Baltušio, Pajuodžio, Luodžio ir kt.

Šalia Kauno Universiteto Geografijos katedros personalo, ežerais domėjosi ir juos tyrinėjo kai kurie atskiri asmenys: S. Kolupaila, P. Gaidamavičius, K. Bieliukas, Č. Pakuckas ir kt.

Steponas Kolupaila 1923 metais paskelbė trumpą Lietuvos hidrografijos vaizdą, o 1932 — Lietuvos ežerų apžvalgą, pridėdamas vertingą Lietuvos ežerus liečiančios literatūros sąrašą. S. Kolupaila daugiausia tyrinėjo Sūduvos ir Lietuvos šiaurės rytų ežerus. Jis labai domėjosi ežerais, bet dar labiau — Lietuvos upėmis: jas tyrė, aprašinėjo, ypačiai Nemuną ir Nevėžį.

P. Gaidamavičius 1932 metais paskelbė Virvytės aukštupio baseino hidrografiją, 1936 — Masčio ežero morfometriją, 1937 — rašė apie Babrungo upės aukštupio baseiną ir apie Biržulio ežerą, 1938 — apie Reškėčio ežerą, 1943 — apie Masčio ežero baseiną. Taigi Gaidamavičiui daugiausia rūpėjo Žemaičių aukštumos ežerai.

K. Bieliukas 1934 m. pateikė Grabestos ežero morfometriją, 1935 — Ilgio ir Kietaviškio, Tauragnų, Labės ir Labelės ežerų morfologiją ir morfometriją, 1936 — Kalvių, Žaslių ir kt. ežerų morfometriją, 1937 metais išėjo monografija „Dovinės baseino ežerai“, tais pačiais metais paskelbta 28 Trakų apskrities ežerų, Platelių srities ežerų ir Vievio ežero morfometrija.

Č. Pakuckas nuo 1934 ligi 1940 metų pakelbtuose geologiniuose darbuose vietomis esmingai paliečia ir Lietuvos ežerus,

ypačiai tų ežerų kilmę, ir pateikė pirmą pilnesnę Lietuvos ežerų genezinę klasifikaciją.

A. Šarauškaitė-Ingaunienė 1940 metais paskelbė darbą apie Šventosios baseino kairiosios pusės ežerus.

Ežerai buvo tyrinėjami ne vien morfologiniu ir morfometriniu atžvilgiu, bet ir biologiniu. Čia paminėtini T. Ivanauskas (Sartų ežero fauna), P. Šivickis (Luodžio ežero fauna), K. Regelis (Metelių krašto ežerų augmenija) ir kt.

Ežerus tyrinėjo ne vien Kauno Universiteto Geografijos katedra, bet ir Lietuvos Žemės ūkio ministerijos Melioracijos skyrius. Jam rūpėjo žuvų ūkio pagerinimas. Šis skyrius 1930—1940 metais vykdė ežeruose batimetrinius darbus. Labai nuodugniai išmatavo beveik visus Trakų, t. y. buv. Kaišiadorių apskrities ežerus, ir vieną kitą ežerą kitose apskrityse. Ištirtiems ežerams buvo sudaryti batimetriniai planai ir smulkūs aprašymai. Iš jų buvę galima spręsti apie ežero krantų konfiguraciją ir dugno reljefą, iš dalies ir apie žuvies kokybę, bet Didžiojo Tėvynės karo metu, hitlerinei kariuomenei Lietuvą okupavus, beveik visa ta medžiaga žuvo.

Iš viso to, kas ligi šiolei sakyta, matyti, kad tarybinis laikotarpis iš praeities paveldėjo ne per daugiausia ežerotyros darbų ir duomenų, bet vis dėlto šį tą paveldėjo.

Tarybiniu laikotarpiu ežerai imta tyrinėti sistemingiau ir visapusiškiau negu seniau. Šio darbo ėmėsi Tarybinės vyriausybės 1945 m. pradžioje atgaivintas Lietuvos TSR Mokslų akademijos Geologijos ir geografijos institutas drauge su Biologijos institutu ir Vilniaus Valstybinio Universiteto Gamtos mokslų fakultetu. Jie kompleksškai ištyrinėjo Vosyltės-Saidės baseine 61 ežerą: į šį skaičių įeina ir didieji Trakų grupės ežerai — Galvės, Skaisčio, Akmenos; Riešės baseine ištyrinėta 20 ežerų, o Jeruzalės — 7; Merkio baseino dešiniojoje pusėje ištyrinėta 85 ežerai, o taip pat Lietuvos pietryčiuose ir Sūduvoje visa eilė verslinės reikšmės ežerų.

Svarbiausia, tarybiniu laikotarpiu buvo sudarytas Lietuvos TSR ežerų katalogas. Tiesa, jo duomenys preliminariniai, bet vis dėlto gana tikslius, nes, jį sudarant, buvo panaudota visa, kas Lietuvoje ežerotyros srityje buvo padaryta. Prie katalogo yra pridėtas žemėlapis (1:300 000), kuris įgalino ežerus regionuoti. Prie duomenų rinkimo ir dorojimo labai daug prisidėjo inžinierius J. Krisciūnas.

Tarybiniu laikotarpiu pasirodė nemažas skaičius darbų, išspausdintų Lietuvos TSR Mokslų akademijos ir Vilniaus Universiteto leidiniuose. K. Bieliuko paskelbti „Kai kurių Baltijos aukštumos regionų Lietuvos TSR teritorijoje ežerų morfologiniai ir morfometriniai bruožai“, kuriuose kalbama apie Riešės, Jeruzalės, Vosylytės-Saidės baseinų ir apie Merkio baseino dešinėsios pusės ežerus. To paties autoriaus, limnologinių žinių platesnes visuomenės masėse skleidimo sumetimais, yra įvairiuose leidiniuose išspausdintas ne vienas straipsnis ir išleistas atskiras darbas „Lietuvos TSR ežerai. (1956 m.). A. Basalyko ir St. Tarvydo darbai svarbūs tiriant Lietuvos TSR ežerų aplinką ir kilmę. V. Chomskis, P. Škeliovaitė, A. Garunkštis nagrinėja rinas ir rininius ežerus. V. Chomskis, be to, prisidėjo prie morfometrinių duomenų kritikos ir prie ežerų vandens masės pastovumo bei vandenų sąmaišos tyrimo, o A. Garunkštis nagrinėjo ežerų hidrodinamiką, būtent srovių įtaką atabrado susidarymui, paleohidrologinį kai kurių Lietuvos ežerų režimą ir kitas problemas.

Paskutiniu metu ežerotyros srityje rimtai pasireiškė A. Stannaitis, M. Šalkutė-Vasiliauskienė, E. Žukaitė, A. Bunikis, I. Klimkaitė ir kiti. Jų ir vyresniųjų ežerotyrininkų tiriama ne vien ežero dubuo morfologiniu ir morfometrinio atžvilgiu ar dugno reljefas, bet ir nuosėdos, apyežerio sąlygos, ežero vandens masės terminis režimas, chemizmas, dujinis režimas, vandenų sąmaiša ir balansas, taip pat ežerų geografinis pasiskirstymas horizontaline ir vertikaline kryptimi Lietuvos TSR teritorijoje.

Gana didelis skaičius autorių rašo apie ežerus biologiniu požiūriu: M. Valius — apie Metelių ir Obelijos ežerus, T. Zubavičius ir T. Ivanauskas — apie Žuvinto ežerą, ypačiai jo paukščius, P. Snarskis, B. Adomavičiūtė, M. Natkevičaitė ir A. Minkevičius — visi keturi apie Daugų ežero florą, A. Minkevičius ir I. Trainauskaitė — abu apie Trakų grupės ežerų dumblius, J. Maniukas — apie lašišines žuvis Lietuvos TSR ežeruose, I. Gasiūnas — apie Dusios ežero dugno gyvūniją ir apie žuvų maisto bazę ežeruose, O. Pečiulienė — apie Trakų ežero zooplanktoną* (žr. išnašą 29 psl.).

Žuvinto ežeras yra paverstas rezervatu visų pirma paukščiams apsaugoti.

Veikia Lietuvos TSR Mokslų akademijos Zoologijos ir parazitologijos instituto Ežerų ir tvenkinių žuvivaisos laboratorija su eksperimentine žuvivaisos ir žuvų aklimatizacijos baze Vokėje ir maždaug 30 ežerų stebėjimo postų.

c) Bendrieji ežerotyros vystymosi bruožai

Iš pradžių žmogus ežerais domėjosi ūkiniais sumetimais. Ypačiai svarbų vaidmenį vaidino žvejyba. Tik vėliau ėmė ežerais domėtis ir mokslininkai.

Visuose ežerotyros vystymosi tarpsniuose labai žymų vaidmenį vaidino biologinis veiksnys. Pirma pasireiškė biologinė-hidrologinė ežerų tyrimo kryptis, o vėliau, pirmajai atvirkščia,— hidrologinė-biologinė.

Iš pradžių buvo tiriami atskiri ežerai ir atskirų regionų ežerai. Buvo ir yra rašomos atskirų ežerų ir atskirų regionų ežerų monografijos. Jų duomenis lyginimo keliu apibendrinant, susikūrė bendroji limnologija. Šiuo metu susipažinti su ežerotyra kaip tik pradedama nuo jos, o toliau einama prie regioninės, arba lyginamosios, taikomosios ir praktinės, taigi laikomasi tvarkos, kuri atvirkščia tai tvarkai, kuria limnologija kūrėsi.

II. EŽERAS

1. KAS YRA EŽERAS

Lietuvos TSR teritorijoje priskaityta daugiau kaip 2500 ežerų, kurių paviršiaus plotas ne mažesnis kaip 1 ha. Pridėjus 1500 ežerų, kurių paviršiaus plotas lygus 0,5 ha arba didesnis už 0,5 ha, bet mažesnis už 1 ha, susidaro apvali suma — 4000 ežerų. Apskaičiuojama, kad visos Tarybų Sąjungos teritorijoje esama daugiau negu 250 tūkstančių ežerų, kurių paviršiaus plotas ne mažesnis kaip 1 ha, o visame Žemės rutulio sausumos paviršiuje — maždaug 1 milijonas. Taigi ežeras palyginti daž-

* Planktoną sudaro vandens masėje gyveną įvairūs mikroorganizmai — gyviai (zooplanktonas) ir augalai (fitoplanktonas).

nas reiškiny s žemės paviršiuje. Todėl ežero sąvoką daugumas žmonių turi nuo vaikystės dienų ir gana tikslią. Bet mokslininkai ne visada gali tenkintis tokiomis sąvokomis, kokios natūraliai vien tik iš gyvenimo, iš praktikos susidarė. Jie turi jas patikrinti, patikslinti, pagriežtinti, neretai padaryti jas turiningesnes.

To siekdamas, Forelis (1901) pateikė tokį ežero sąvokos apibrėžimą:

„Terminu ežeras žymima stovinčio vandens masė, susitelkusi žemės įdubime ir iš visų šalių uždara, taigi tiesiogiai nesusisiekianti su jūra“.

Šiuo metu Forelio apibrėžimu negalima tenkintis,— negalima dėl to, kad jame neatsispindi, realiai imant, visų svarbiausias dalykas — ežero gyvenimas, to gyvenimo dinamiškumas, ežero kintamumas. Nekintamų ežerų tikrovėje nėra. Į ežerą reikia žiūrėti kaip į vyksmą, kaip į procesą, kuris prasideda, vyksta ir pasibaigia. Tačiau negalima sakyti, kad Forelio ežero apibrėžimas visiškai klaidingas ir netinkamas. Ne, jis yra gana teisingas, tik nepilnas.

Daug pilnesnis ežero apibrėžimas yra duotas tarybinio mokslininko A. N. Lipino (1950). Štai tas apibrėžimas:

„Ežeras yra gana didelė vandens masė, stovinti natūraliame uždarame sausumos paviršiaus įdubime, arba lėtai jame tekanči, ir neturinti artimo betarpiško susisieki mo su jūra“.

Lipino pateiktame ežero apibrėžime vanduo jau pajudėjo, tačiau pats įdubimas, kuriame vandens masė yra susitelkusi, liko pastovus. Reikia ir jį išjudinti. Be to, šiuo metu esama nemažo skaičiaus dirbtinių ežerų. Taigi įdubimas sausumos paviršiuje gali būti susidaręs natūraliai, bet gali būti ir žmogaus sudarytas. Taigi apie įdubimo susidarymo būdą galima ir nekalbėti. Jei sakoma uždarame „sausumos paviršiuje“, tai ir apie susisiekimą su jūra galima nutylėti. Atsižvelgus į šias pastabas, galima sudaryti apibrėžimą, kuriuo būtų galima pasitenkinti. Toks apibrėžimas taip skambėtų:

Ežeras yra gana didelė nuolat kintanti palyginti stovinčio vandens masė, susitelkusi nuolat kintančiame sausumos paviršiaus uždarame įdubime.

Šis apibrėžimas apima visa, kas ežero sąvokoje esmingiausia. Svarbiausia, kad iš apibrėžimo matyti, jog ežeras kinta, jog ežeras — procesas, vyksmas. Kinta ežeras apskritai, kinta ir atskiri jo elementai; kinta ežero dubuo,— tas uždaras įdubimas sausumos paviršiuje, kinta ir vandens masė, susitelkusi dubenyje. Ežeras, vaizdingai sakant, gimsta, vystosi (darosi vis kitoks), sensta ir pagaliau miršta,— dėl vienų ar kitų priežasčių dingsta iš sausumos paviršiaus, iš landšafto: pasiekus upės aukštupiui, jis nuteka; tekančieji vandenys jį užneša ar pats ežeras užželia, virsta pelke, durpynu.

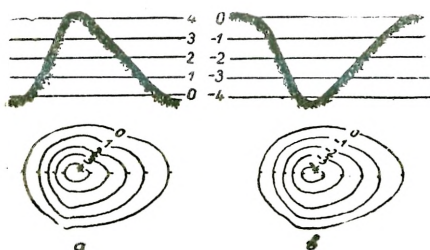
Apibrėžimas nurodo ežero ir jo pagrindinių elementų pobūdį ir leidžia ežerą skirti nuo kitų vandens telkinių. Visų pirma nuo upės: upėje vanduo palyginti srauniai teka, o ežere, jei ir teka, tai, palyginus su upe, nors ir visai nesraunia, labai lėtai. Be to, upės vandens paviršiaus polinkis vienašališkas, o ežero vandens paviršius tokio polinkio neturi. Toliau — nuo kūdros, valkos, balos, pelkės; kūdroje, valkoje, baloje — per maža vandens, o pelkė — tai pažliugęs teritorijos plotas, paprastai apaugęs tam tikra augalija. Pagaliau — nuo jūros; jūra sudaro vandenyno dalį ir negali būti priskirta prie sausumos vandenių. Tiesa, kai kurie ežerai dėl jų didumo vadinami jūromis: Kaspijos jūra, Aralo jūra. Iš tikrųjų, tai yra ežerai, nes jie priklauso grynai sausumai, o ne vandenynui, ne Pasauliniam okeanui. Kas kita Baltijos ar Juodoji su Azovo jūra. Juodoji jūra labai panaši į ežerą, bet ji ne ežeras, nes ji priklauso Pasauliniam okeanui, o per ją ir Azovo jūra. Įsidėmėkime galutinai: ežeras priklauso sausumai, o jūra — okeanui, pagaliau Pasauliniam okeanui.

Kai kada kalbama apie požeminius ežerus,— apie ežerus, esančius po žeme. Mes tokių ežerų neliesime, nes požeminius vandenis tyrinėja hidrogeologija. Kalbėsime tik apie ežerus, tyvuliuojančius sausumos paviršiuje.

Dirbtinių ežerų,— upinio ar ežerinio tipo tvenkinių,— gyvenimas daug kuo panašus į gamtinių, arba natūralių, ežerų gyvenimą, bet daug kuo ir skiriasi. Vis dėlto nėra jokio reikalo skirti tvenkiniams atskirą skyrį, o reikia kalbėti apie juos greta su natūraliaisiais ežerais. Tuo būdu išvengiama nereikalingo kartojimo ir, išryškėjus panašumui ir skirtumui, dėsningumai tiksliau apibendrinami.

2. KAIP EŽERAS ATVAIZDUOJAMAS PLANUOSE IR ŽEMĖLAPIUOSE

Kalva brėžinyje, tiksliau — plane ar žemėlapyje, atvaizduojama izohipsėmis, t. y. linijomis, einančiomis kalvos pa-



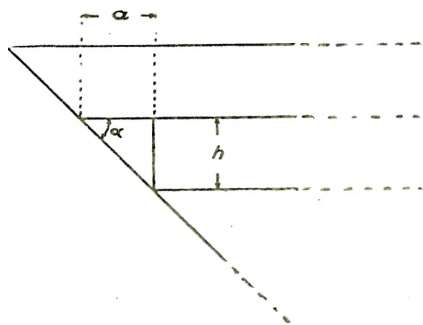
6 pav. Kalvos izohipsės (a) ir ežero izobatos (b)

viršiumi kiekviena tam tikrame aukštyje, o ežeras — izobatomis, t. y. linijomis, einančiomis dugno paviršiumi kiekviena tam tikrame gylyje; izohipsės ir izobatos gausime, jei kalvą ar ežero dubenį piaušime horizontaliomis lygiagretėmis izohipsinėmis (kalvą) ar izobatinėmis (ežero dubenį) plokštumomis.

Kur kalvos šlaitas statesnis, ten izohipsės brėžinyje arčiau viena prie kitos, kur lėkštesnis — toliau. Taip pat ir izobatos: kur dugno atšlaitės polinkis didesnis, ten jos brėžinyje arčiau viena prie kitos, kur polinkis mažesnis — toliau (6 pav.). Jei kalvos šlaitas status, kaip siena, ar ežero dugno šlaito polinkis toks, kaip šulinio, tai izohipsės ar izobatos brėžinyje susilieja. Bet neretai jos susilieja dėl braižytojo kaltės, kai jis pasirenka tarp kalvos ar ežero horizontalinių piūvių izobatinėmis ar izohipsinėmis plokštumomis per mažą nuotolį h . Tam nuotoliui apskaičiuoti esama tam tikros formulės:

$$h = a \operatorname{tg} \alpha, \quad (1)$$

kur h — nuotolis tarp izobatinų piūvių, a — nuotolis tarp izobatų, projektuotų į ežero paviršių, α — dugno šlaito polinkio kampas (7 pav.). Dydžiai h ir a išmatuoti metrais. Brėžinyje projekcijos, taigi ir nuotolis tarp izobatų



7 pav. Dugno šlaito polinkio kampas α :
 $h = a \operatorname{tg} \alpha$

a , atvaizduojamos tam tikru masteliu $1 : N$ (N — mastelio vardiklis). Brėžinyje dydį a atitinka dydis $a : N = b$. Kai norime, turė-

dami b , surasti dydį a , turime b padauginti iš mastelio vardiklio N , būtent: $a = b \cdot N$. Dydis b paprastai brėžinyje matuojamas milimetrais. Vadinasi, sudauginę gauname $b \cdot N$ mm, arba $\frac{b \cdot N}{1000}$ m, o tą lygu dydžiui a , išmatuotam, kaip ir h , metrais:

$$a = \frac{b \cdot N}{1000} \text{ m.}$$

Išstatę reiškinį $\frac{b \cdot N}{1000}$ m į formulę $h = a \operatorname{tg} \alpha$, gauname galutinę formulę:

$$h = \frac{b \cdot N}{1000} \operatorname{tg} \alpha \text{ m.} \quad (1a)$$

Stengiamasi, kad dydis b nebūtų mažesnis už 0,2 mm. Paprastai b imamas lygus 1 mm ar didesnis už 1 mm:

$$b \geq 1 \text{ mm.}$$

Išspręsimė tokį uždavinį. Brėžinio mastelis 1 : 10 000, dugno polinkio kampas $\alpha = 45^\circ$. Mums reikia, kad nuotolis tarp gretimų izobatų brėžinyje b nebūtų mažesnis už 1,5 mm. Koks turi būti h , t. y. nuotolis tarp izobatinių piūvių?

Imame formulę (1a), įstatome į ją turimus dydžius ir gauname h :

$$h = \frac{b \cdot N}{1000} \operatorname{tg} \alpha = \frac{1,5 \cdot 10\,000}{1000} \operatorname{tg} 45^\circ = 1,5 \cdot 10 \cdot 1 = 15 \text{ (m).}$$

Taigi piūvis nuo piūvio turi būti per 15 m.

*

Jei žemėlapyje N , t. y. mastelio vardiklis, mažesnis, tai žemėlapyje bus įmanoma ir mažesnius ežerus pažymėti, o jei N didesnis, tai mažų ežerų pažymėti negalėsime, nes mažiems ežerams reikės mažesnio už 2 mm² žemėlapyje ploto, o tokie ežerai žemėlapiuose nežymimi. Ežeras žemėlapyje pagal turimą mastelį paprastai užima ne mažiau kaip 2 mm².

Jei žemėlapyje N mažas, tai tam tikra teritorija atrodo labai ežeringa, o jei N didelis — atrodo netokia ežeringa, nes žemėlapyje nepažymėti mažesni ežerai. Taigi, kalbant apie kurios

nors teritorijos ežeringumą, reikia nurodyti ir žemėlapiu mastelį.

1 lentelėje sužymėta, kokio mažiausio didumo ežerai žymimi tam tikrų mastelių žemėlapiuose (N — mastelio vardiklis, a_0 — ežero paviršiaus plotas ha):

1 lentelė

$1 : N$	a_0 ha
1 : 25 000	0,125
1 : 100 000	2
1 : 200 000	8
1 : 500 000	50
1 : 1 000 000	200

Nustatant iš žemėlapiu ežerų skaičių ir jų paviršiaus ploto dydį, rezultatai priklauso nuo žemėlapiu kokybės ir jo mastelio.

3. PAGRINDINIAI EŽERO ELEMENTAI

Elementais vadinamos palyginti paprastos ir vienaalytės sudedamosios dalys. Iš ežero apibrėžimo matyti, kad tokių elementų yra du: dubuo ir vandens masė. Ežero dubuo yra neatskiriamai susijęs su terenu, kuriame jis susidarė, o ežero vandens masė priklauso nuo klimato tos teritorijos, kurioje ežeras susiformavo. Aplinka nuolat santykiauja su ežero elementais, su dubeniu ir vandens mase, o dubuo ir vandens masė — su aplinka. Tai pažymėjo Anučinas ir Halbfasas. Ne kas kita, o tik aplinka sudarė ežerą, jį vystė, ugdė, brandino, bet aplinka taip pat ežerą sendina ir pagaliau jį numarina. Ežeras savo ruožtu veikia aplinką, veikia landšaftą:

- dalyvauja vandenų nutekėjimo reguliavime,
- turi įtakos artimiausių apylinkių mikroklimatui,
- dalyvauja reljefo formavime,
- turi įtakos grunto vandenims ir aplinkos užpelkėjimui; be to,
- formuoja ežerines nuosėdas ir
- susidaro specifinės sąlygos įvairių organizmų gyvenimui — augalų, gyvių.

Vis dėlto aplinka nepalyginti intensyviau veikia ežerą negu ežeras aplinką. Kinta aplinka — tai kinta dubuo ir vandens masė, kinta ežero visuma.

Ežero elementams, dubeniui ir vandens masei, didelę reikšmę turi biologinis veiksnys, arba faktorius, t. y. gyvi padarai, — augalai, gyvūnai, jų tarpe įvairūs mikroorganizmai. Biologinis veiksnys ežero gyvenime vaidina lemiamą vaidmenį. Ir atvirkščiai — ežeras savo ruožtu galingai veikia biologinį veiksni.

Neišleistas iš akių ploto ir mineralinis aspektas, visų pirma sąnašos. Nuosėdos, iš kurių susidaro dumblas, skaidosi, mineralizuojasi. Dumblo daugelyje ežerų susidaro gana storas sluoksnis. Labiausiai tuo pasižymi mirštantieji ežerai.

Taigi, norint turėti pilną ežero vaizdą, reikia kreipti dėmesį į šiuos, vienas su kitu susijusius momentus: į ežero dubenį, į susitelkusią jame vandens masę, į ežero biologiją, į mineralinį ežero aspektą, pagaliau į tą aplinkos dalį, kurią veikia ežeras, ir į tą, kuri veikia ežerą. Ta aplinkos dalis, kuri veikia ežerą, yra nepalyginti didesnė negu ta, kurią veikia ežeras.

*

Ežero dubuo — neigiamoji reljefo forma. Ši forma yra dalis. erdvesnės neigiamosios formos: duburio, rinos, slėnio. Pačiose žemosiose šių formų vietose, — dubenyse, — susitelkęs vanduo kaip tik davė pradžią ežerams. Jei ežeras tvokso ir lygumoje, tai vis nors kiek įlinkusioje vietoje.

Duburys paprastai būna uždaras. Tokiuose duburiuose būna uždari, net aklini, ir ežerai. Uždary ar aklinių ežerų daug pasitaiko taip pat ledynų tirpsmo vandenų išneštose rinose. Tokie ežerai vandenis surenka iš savo baseino ir niekam jų neatiduoda. Vandenis tik išgaruoja ar likviduojasi požeminiu keliu. Griežtai imant, nenutekamaisiais laikytini vien tie ežerai, iš kurių vanduo tik išgaruoja.

Nemažą skaičių ežerų susiejo upės, kurios taip pat teka žemiausiomis slėnių vietomis. Upė arba pati betarpiškai ežerus susieja, arba prisieja prie jos intakai, — prisieja ežerus, tyvuliuojančius, absoliučiai imant, gana aukštai — prie vandenskyrų ar net pačiose vandenskyrose. Bet ir uždari ežerai priskiriami tos upės baseinui, kuriame jie tvokso. Apskritai, ežerai sudaro hidrografinio tinklo integrinę grandį (žr. 103 psl.).

Apie Lietuvos ežerų hidrografinius ryšius įdomių duomenų pateikė A. G a r u n k š t i s „Geografinio metraščio“ III tome (1960). Pasirodo, kad uždarytų ežerų Lietuvoje esama šiek tiek daugiau negu atvirų. Iš suskaitytų didesnių ežerų — uždarytų esama 1281, o atvirų 1175. Toks uždarytų ežerų gausumas rodo, kad Lietuvos reljefas dar jaunas.

Iš aplinkos į ežerą patenka įvairių medžiagų. Jos nusėda ar nugula ant ežero dugno. Taip pat tokių medžiagų į tolesnes ežero sritis patenka iš ežero pakraščių, nuo krantų. Ir tos nugula. Apskritai, ežero dubenyje skirtina dinaminė jo dalis,— tai pakraščiai, ir statinė dalis,— vadinamasis g u o l i s. Lietuvoje ežerotyrininkai šį terminą beveik nevartojo. Užtat jį dažnai var-toja pelkėtyrininkai, nes pelkės, neretai buvusio ežero dubuo, yra tapę statišku durpių sluoksnių guoliu.

EŽERO DUBUO

Kalbėdami apie atskirus ežero elementus, veiksnius, ar faktorius, arba bendrai — komponentus, vis akivaizdoje turėsime pilną ežero vaizdą, ežero visumą,— vieno elemento ar veiksnio sąsąjį su kitais veiksniais ar elementais. Pavyzdžiui, ežero dubens, kaip neigiamosios žemės paviršiaus reljefo formos, ypatinumą sudaro vanduo. Jis paslepia ežero dugno reljefą ir žymia dalimi prisideda prie jo kitimo. Ir, atvirkščiai, ežero dubens forma turi įtakos vandens masės dinaminėms, terminėms ir kitoms sąlygoms. Šiuo atžvilgiu, kaip ir daugeliu kitų, ežeras žymiai skiriasi nuo jūros ar okeano, kur dubens forma vandens srovių ir apskritai judesių beveik nevaržo.

Formų mokslas vadinamas morfologija. Ežero morfologijoje, kaip ir apskritai geomorfologijoje, skirtini du momentai ar aspektai: morfografinis ir morfogenezinis. Pirmuoju atveju formos tik aprašomos, antruoju — tyrinėjama jų kilmė. Tyrinėjant dabartinę formų būklę ir jų kilmę, reikalinga aptarti būdus, kuriais surandami tų formų matmenys ir kiti su jomis susiję dydžiai,— reikalinga matematikos pagalba. Tokiu būdu susikuria — morfometrija, kurios turinys ir apimtis priklauso nuo morfografijos ir nuo morfogenezės, nes jos yra nepariskiriamai susijusios.

I. EŽERO MORFOLOGIJA

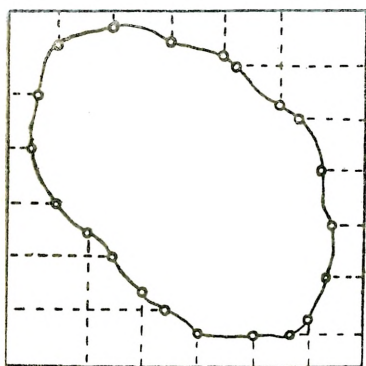
1. MORFOGRAFIJA

a) Ežero paviršiaus formos

Paviršiaus geometrinis pavidalas; kontūrai. Visų pirma krinta į akis ežero paviršiaus forma, jo kontūrai, kurie būna gana įvairūs. Tiesą sakant, mes ežero paviršiaus formą ir kontūrus

lengvai pastebime tik tiksliaame žemėlapyje ar plane. Gi tikrovėje dažniausiai sunku būna, ir net neįmanoma, akimis didelį ežerą aprėpti (nebent iš lėktuvo) ir pamatyti, kokia jo paviršiaus forma, kokie jo kontūrai.

Iš tikrovės ir žemėlapių patiriame, kad ežerų esama apskritų, panašių į akį (jie paprastai ir vadinami akimis), ir pailgų, tiesių ir kreivų, net šakotų, su vingiuota ar lygia krantine (taip vadinama kranto linija, o tiksliau — juosta, kur susiduria ežero vandens paviršius su sausuma).



8 pav. Ežero kontūro nustatymas pasinaudojant stačiakampiu

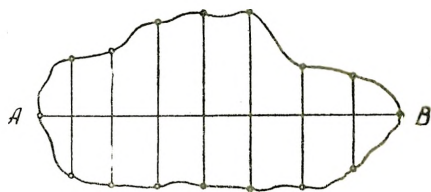
Norint nustatyti ežero kontūrą ir atvaizduoti jį brėžinyje, galima, jei ežeras lygioje vietoje, pasinaudoti stačiakampiu, ploto atžvilgiu didesniu už ežero paviršių (8 pav.).

Nuo stačiakampio kraštinių vis statmenai matuojamas nuotolis ligi ežero ir fiksuojami krantinės taškai. Paskui tie taškai sujungiami linija, ir gaunamas ežero kontūras.

Jei ežero krantai nelygūs, statūs, tai šis būdas nebetinka, reikalingas kitas. Pavyzdžiui, ežerui užšalus, galima lede nusižymėti bazinę liniją AB ir nuo jos matuoti statmenis į abi puses ligi krantinės. Taip fiksuotus krantinės taškus sujungę linija, gausime ežero kontūrą (9 pav.).

Abiem atvejais — juo bus daugiau fiksuota krantinės taškų, tuo kontūras bus gautas tikslesnis. Darbas pirma atliekamas

su vingiuota ar lygia krantine (taip vadinama kranto linija, o tiksliau — juosta, kur susiduria ežero vandens paviršius su sausuma). Esama ežerų su salomis ir be salų. Geometriškai kalbant, ežero paviršiaus forma būna panaši tai į skritulį, tai į elipsę, tai į tiesų ar vingiuotą ruožą; kai kada ežero paviršius būna panašus į trikampį, keturkampį, daugiakampį, o dažniausiai būna į jokią taisyklingą geometrinę figūrą nepanašus.

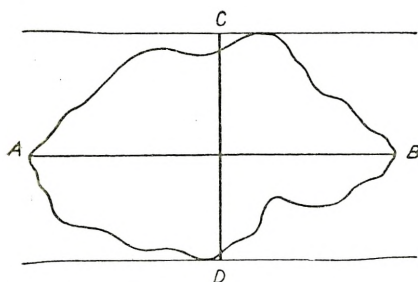


9 pav. Ežero kontūro nustatymas žiemą; AB — bazinė linija

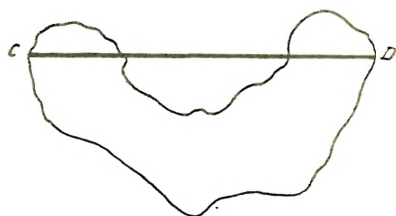
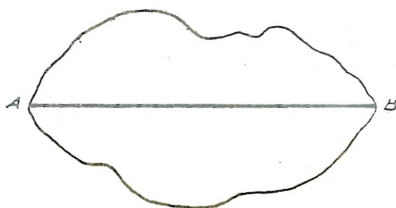
lauke, o paskui namuose brėžinyje, braižomame tam tikru masteliu. Ežero kontūras paprastai būna išsivingiavęs. Neretai į ežerą įsiterpia pusiasaliai arba jo krantus išlanksto įlankos. Kai kada ežerą nuo ežero skiria sąsmauka, o kai kada ežerą su ežeru jungia sąsiauris. Manoma, kad bendra krantinės vingiuotumo tendencija — mažėti, kad krantinė artėjanti prie išgaubtos linijos, pagaliau prie apskritimo. Išeina, kad krantinė besivystydama prastėjanti.

Ežero ašys; paviršiaus centras. Svarbu nustatyti ežero kontūrą, jo paviršiaus pavidalą; taip pat svarbu nustatyti, kokia to paviršiaus padėtis aplinkoje, kaip jo forma orientuota. Šiam reikalui panaudojamos ežero

ašys: didžioji ir mažoji. Didžioji ašis yra tiesiosios atkarpa, jungianti du labiausiai nutolusius nuo vienas kito ežero krantinės taškus ir galinti eiti ne vien akvatorija, bet ir terito-



11 pav. Didžioji (AB) ir mažoji (CD) ežero ašys



10 pav. Ežerų didžiosios ašys: AB ir CD

rija, t. y. ne vien vandens paviršiumi, bet ir kirsti sausumą (10 pav.). Mažoji ašis yra tiesiosios atkarpa, stačiu kampu jungianti ties didžiosios viduriu dvi lygiagretes didžiajai ašiai tiesias linijas, einančias per labiausiai nutolusius nuo tos ašies ežero krantinės taškus (11 pav.). Didžiosios ir

mažosios ašių rumbai, arba kryptys, kaip tik nurodo ežero padėtį aplinkoje. Ašių susikirtimo taškas laikytinas ežero centru, iš kurio galima aplink ežerą apskritimą apibrėžti ar į ežerą įbrėžti. Pirmuoju atveju apskritimas eis per didžiosios ašies galus, o antruoju — per mažosios, jei ežeras elipsinis.

Ežero krantai. Sausumos dalį palei ežerą vadiname paežerė. Paežerės pakraščius, susisiekiiančius su vandeniu, vadiname krantais, kurie gali būti aukšti ir žemi, statūs ir lėkšti. Krantai ir paežerė gali būti apaugę medžiais ir krūmais, o gali būti ir pliki. Dažnai paežerėje, o kai kada ir visame apyežerėje plyti tikros pelkės.

Ežero krantų forma ir pobūdis, taip pat paežerės ir apyežerio pobūdis priklauso nuo to, kokiame terene ežero dubuo yra susidaręs: lygiame ar kalvotame, kalnuotame.

b) Ežero dubens formos

Dubens geometriniis pavidalas. Kaip ežero paviršius gali būti panašus į kurią nors geometrinę plokščią figūrą, taip ežero dubuo gali būti panašus į kurią nors geometrinę kūną: į cilindrą ar į tiesią arba išsikraipiusią riną nelyginant lovį, į kūgį, paraboloidą, pusrutulį, puselipsoidį. Tačiau dažniausiai ežero dubuo būna į jokių taisyklingą kūną nepanašus, kaip ir ežero paviršiaus pavidalas į taisyklingą plokščią figūrą. Naudosimės analogija toliau: kaip ežero krantinė būna lygi ir vingiuota, taip ir dubens dugnas būna palyginti lygus ir nelygus, iškilimų ir įdubimų išlankstytas. Neretai kai kurie iškilimai išnyra virš vandens lygio. Tai salos. Norėdami nustatyti ežero kontūrus žiemą, matuojame statmenis nuo bazinės linijos iki susikirtimo su kontūru, o norėdami nustatyti dugno reljefą, turime matuoti statmenis nuo ežero paviršiaus ligi susikirtimo su dugnu. Juo daugiau bus tokių statmenų, tuo tiksliau bus nustatytas dugno reljefas.

Manoma, kad krantinės linija besivystydama prastėja, darosi vis lygesnė, mažiau vingiuota. Panašiai ir ežero dugno reljefas besivystydamas prastėja, lygėja, nes nelygumus sumažina ir visai panaikina įvairių nuosėdų ir dumblo susikaupimas.

Dubens svorio centras. Kai ežero dubuo panašus į kurią nors geometrinę taisyklingą kūną, tai jo, tiksliau — jame susitelkusios vandens masės, svorio centro nustatymas gana paprastas. Ypačiai, jei vanduo visas vienodo tankio ar, apskritai, homogeninis, vienodas. Tokių kūnų svorio centro nuotolis S_0 nuo pagrindo, t. y. nuo ežero paviršiaus, nurodytas 2 lentelėje. Literatūroje šis nuotolis, ar atstumas, kai kada žymimas raide z , t. y. tuo pačiu simboliu, kuriuo mes žymėsime gylį.

Nuotolis S_0 nuo paviršiaus ligi svorio centro
(H_d — didžiausias ežero gylis); vanduo
homogeninis.

Kūnas	S_0
Cilindras	$\frac{1}{2} = 0,50 H_d$
Konusas	$\frac{1}{4} = 0,25$ „
Paraboloidas	$\frac{1}{3} = 0,33$ „
Pusrutulius	$\frac{3}{8} = 0,375$ „

Reikia parinkti giliausią vietą. Tai nuotolis S_0 nuo ežero paviršiaus iki svorio centro, jeigu vanduo homogeninis, bus lygus $\frac{1}{2}$ aukštinės (didžiausio gylio H_d) cilindro atveju, $\frac{1}{4}$ — konuso, $\frac{1}{3}$ — paraboloido ir $\frac{3}{8}$ — pusrutulio atveju.

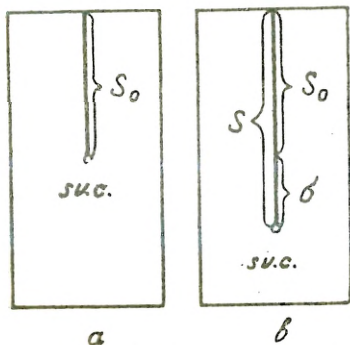
Bet tokių paprastų atvejų beveik nepasitaiko. Taigi nuoto-
liui S_0 surasti tenka naudotis paimta iš mechanikos formule.
būtent:

$$S_0 = \frac{\int_0^{z_m} z dV}{V} \quad (2)$$

kur z — gylis, z_m — didžiausias gylis, V — ežero vandens homo-
geninės masės tūris, dV — tūrio elementas. Matome, kad ši for-
mulė reikalauja tam tikrų duomenų. Kaip tie duomenys suran-
dami, sužinosime netolimame morfometrijos skyriuje.

Jei vandens tankis ρ nevienodas, pavyzdžiui, juo giliau, tuo
vanduo tankesnis, tenka naudotis kita, bet panašia formule, bū-
tent:

$$S = \frac{\int_0^{z_m} \rho_z z dV}{\int_0^{z_m} \rho_z dV} \quad (3)$$



12 pav. $\sigma = S - S_0$; sv. c. — svorio centras; cilindre *a* vandens tankis vienodas; cilindre *b* — nevienodas; juo giliau — tuo vanduo tankesnis

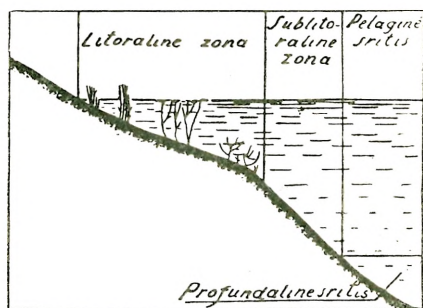
S ir S_0 susidarys skirtumas, kurį pažymėsime raide σ :

$$S - S_0 = \sigma \quad (4)$$

Formulės (2), (3) ir (4) mums bus labai reikalingos tolesnėje darbo eigoje.

Ežero zonos ir sritys. Ežero dalį pagal krantinės liniją ar priekrantinę juostą vadina litoraline zona, o toliau nuo krantinės, už litoralinės zonos, eina pelaginė sritis (13 pav.). Tarp litoralinės zonos ir pelaginės srities būna dar sublitoralinė zona. Litoralinės zonos dugną siekia bangų poveikis. Gilesnieji vandens masės sluoksniai sudaro profundalinę sritį.

Ežero dubenį galima skaidyti horizontaliomis plokštumomis. Šiuo atveju gaunama izobatos ir izobatiniai, t. y. izobatų apriboti, paviršiai, lygiagretūs ežero paviršiui. Taip pat ežero dubenį galima skaidyti vertikaliomis plokštumomis. Tuomet gaunami ežero profiliai. Jei kirsime ežerą išilgai, gausime išilginį profilį, o jei skersai — tai skersinį. Norint gauti profilį, užtenka gylius išmatuoti viena kryptimi ir dugno taškus sujungti linija.



13 pav. Ežero zonos ir sritys

2. MORFOGENEZĖ

a) Gruntų reikšmė

Ežero dubens gruntai, kaip ir visa aplinkos geologinė struktūra, taip pat labai reikšminga ežero gyvenimo sąlyga.

Visų pirma svarbu, ar tie gruntai vandeniui laidūs ar ne, molingi jie ar smėlingi. Jei molingi, vandeniui nelaidūs, tai mažai ežerui vandens jie duoda, bet mažai jo ir paima. Jei smėlingi, vandeniui laidūs, tai jie po lietaus greičiau ir daugiau ežerui vandens duoda, bet sausros metu daugiau ir sumina iš ežero į save, daugiau sugeria.

Svarbu, be to, iš ko tie gruntai sudaryti. Jei juose yra daug chloridų ar kitų druskų, nuo to darosi sūresnis, mineralingesnis ir ežero vanduo, ypačiai jeigu ežeras be ištako. Jei grunte esama daug karbonatų, tai ežero vanduo būna gana kietas (žr. 116 psl.).

*

Pirminis ežero dubuo nepasilieka kaip buvęs, o sparčiau ar lėčiau kinta. Kitimas ir jo greitis priklauso nuo įvairių aplinkos veiksnių: nuo reljefo, kuriame ežeras susidarė, nuo gruntinių vandenų, nuo klimato, nuo hidrografinio tinklo, nuo augalinės dangos ir, apskritai, nuo augalų, pagaliau nuo žmogaus ir jo ūkio. Tų veiksnių veikiamas, ežeras gyvena, vystosi, darosi vis kitoks, iki iš sausumos paviršiaus pradingsta. Prisiminkime ežero apibrėžimą (30 ir 31 psl.).

b) Genezinė ežerų klasifikacija

Tik ką palietėme klausimą, kur ežero dubuo susidaro, ir nurodėme reikšmę landšafto, kuriame ežeras gyvena, vystosi. Toliau kyla kiti klausimai: kada ežerų dubenys susidarė? Kas juos sudarė? Kaip sudarė?

Lengviausia atsakyti į paskutinį klausimą: kaip sudarė? arba kuriuo būdu sudarė? Gi sudarė įvairūs veiksniai dubenį arba išduobdami, arba jį patvenkdami. Pirmuoju atveju medžiagos buvo pašalintos, antruoju — akumuliuotos, — sustumtos, suverstos. Taigi ežerus galima suskirstyti į patvenktinius ir duobtinius (14 pav.).

Į klausimą, kas ežerų dubenis sudarė, trumpiausias atsakymas bus toks: gamta ir žmogus. Taigi ežerus galima skirstyti į gamtinius ir dirbtinius. Aišku, kad gamta pirmutinė ėmė ežerų dubenis kurti, o žmogus vėliau. Ypačiai ši jo kūryba suintensyvėjo paskutiniu metu. Skatina energetiniai sumetimai.

Į klausimą, kada dubenys sudaryti, gali atsakyti tik geologas kvarteristas ar geografai geomorfologai. Jei kalbėsime



14 pav. Ežerai: *a* — patvenktinis;
b — duobtinis

tik apie Lietuvos ežerus, tai jie veikiai atsakys, kad vieni Lietuvos ežerai yra susidarę ledynmetyje, kiti — po ledynmečio. Taigi Lietuvos ežerus galima skirstyti į ledynmetinius, arba glacialinius,

ir į poledynmetinius, arba postglacialinius. Šitaip skirstyti galima ir kai kurių kitų kraštų bei šalių ežerus: Latvijos, Estijos, Karelijos, Suomijos, Skandinavijos, Kanados.

Taigi turime tris dvejetus ežerų rūšių: patvenktinius ir duobtinius ežerus, gamtinius ir dirbtinius, glacialinius, arba ledynmetinius, ir postglacialinius, arba poledynmetinius. Bet tai dar nėra ežerų genezinės klasifikacijos sistema.

Ežero gylis, jo ilgio santykis su pločiu, apskritai, ežero dubens forma sąlygoja terminį ir hidrodinaminį vandens masės režimą. Gi ežero dubens forma priklauso nuo jo kilmės. Nuo kilmės priklauso ir ežero tolimesnio vystymosi eiga. Šitai turint omenyje, visai suprantama, dėl ko ežerų dubenų genezės klausimus geografsi sprendžia jau apie pusantro šimto metų ir dėl ko sukurta kelios dešimtys ežerų dubenų genezinės klasifikacijos sistemų, atsižvelgiant į įvairių regionų, o pagaliau į viso pasaulio ežerus. Prisiminę svarbesnių šio klausimo nagrinėtojų vardus, smulkiau susipažinsime su Hatčinsono, Pervuchino ir su Tarybų Lietuvos ežerų genezine klasifikacija.

Visų pirma minėtinas F. Jungas (Young), 1873 metais paskelbęs pirmą platesnę ir nuoseklesnę ežerų genezinės klasifikacijos schemą. Toliau minėtini: O. Pešelis (Peschel; 1879) A. Penkas (Penck; 1882 ir 1894), V. Devis (Davis; 1883), F. Richthofenas (1886), A. Delebekas (Delebeque; 1898), F. Forelis (1901), F. Geikė (Geikie; 1905), V. Ob-

ručevs (1908), P. Voldštedtas (Woldstedt; 1923 ir 1926), V. Nečajus (Nechay; 1927 ir 1932), A. Filipsonas (Philippson; 1931), M. Pervuchinas (1937), S. Majdanovskis (Majdanowski, 1954) ir G. Evely nas Hatčinsonas (Hutchinson; 1957).

Kai kurių autorių, pavyzdžiui, Penko, Forelio, Filipsono, pateiktos schemos nuo kitų autorių schemų skiriasi tik detalėmis. Svarbiausios iš pateiktų schemų yra M. Pervuchino ir Hatčinsono, kurio schema plačiausia.

Hatčinsonas ežerus suskirsto į 11 grupių, o grupes į tipus. Iš viso į 76. Kai kurie tipai dar suskaidyti į potipius. Įsidėmėsimė tik grupes. Štai jos:

- I. Tektoniniai ežerai (1—9 tipai)
- II. Vulkaniniai ežerai (10—19 tipai)
- III. Nuošliaužiniai ar nuogriuviniai (20—22 tipai)
- IV. Ledyniniai arba moreniniai (23—42 tipai)
- V. Karstiniai (43—47 tipai)
- VI. Upiniai (48—59 tipai)
- VII. Eoliniai (60—63 tipai)
- VIII. Pajūriniai ir paežeriniai (64—68 tipai)
- IX. Susidarę dėl organinių medžiagų kaupimosi (69—71 tipai)
- X. Sudaryti aukštesnių organizmų (72—74 tipai)
- XI. Meteoritiniai (75—76 tipai).

Kaip matome, Hatčinsonas pagrindiniu klasifikacijos principu parinko veiksnį, kuris ežerų dubenis sudarė. Aišku, kad pačius didžiuosius ežerus pajėgė sudaryti tik tektoniniai vyksmai žemės plutoje. Taigi tektoninės kilmės Kaspijos ir Aralo jūros. Baikalo, Tanganjikos, Njasos ir kiti ežerai.

Į tipus ir potipius nesigilinsime, nes mums rūpi šiuo tarpu ne detalės, o tik bendrieji schemos bruožai, tačiau pažymėsime, kad Hatčinsono sugrupavimo laikytis verta, nes jis gana nuoseklus ir pilnas, apimęs net 76 ežerų tipus ir daugelį potipių. Todėl jį šiek tiek smulkiau aptarsime.

Tektonika yra mokslas apie žemės plutos judesius ir tų judesių sudaromas žemės plutos susiklostymo formas. Dėl tų judesių žemės paviršius gali iškilti, bet gali ir nusileisti, įdubti. ir tame įdubime gali atsirasti tektoninis ežeras. Tektoniniai ežerai paprastai būna labai gilūs ir ilgi, bet esama ir kitokios

formas ežerų. Tektoninių ežerų Tarybų Sąjungoje esama gana daug. Be minėtų Kaspijos ir Aralo jūrų ir Baikalo ežero, dar pažymėtini Ladogos, Onegos, Teleckoje, Zaisano, Sevano, Isik-kulio ir kiti ežerai. Tektoninės kilmės yra žymiausi didieji Šiaurės Amerikos ežerai: Aukštutinis, Hurono, Mičigano, Erio, Ontario, taip pat didieji Rytų Afrikos ežerai: Njasos, Tanganjikos ir kiti. Tektoninis ežeras taip pat Negyvoji jūra Artimuosiuose Rytuose.

Vulkaniniai ežerai susidaro arba užgesusio ugnikalnio krateryje (Kraterinis ežeras JAV, Oregono valstijoje, Averno ežeras Italijoje, į vakarus nuo Neapolio; tokių ežerų esama Kamčiatkoje ir Kurilų salose), arba sustingusio lavos srauto įdubimuose, arba lavos srauto užtventkame slėnyje. Pastarosios kategorijos ežerų daug yra Armėnijoje.

Šių dviejų grupių ežerų dubenis sudarė endogeninės jėgos, t. y. veikiančios iš žemės vidaus. Kitų visų grupių ežerų dubenis sudarė egzogeninės jėgos, t. y. veikiančios ne iš vidaus, o iš šalies.

Nuogriuvinio ežero geriausias pavyzdys — tai Sarezo ežeras Pamire. 1911 metais nuogriuva užtvėnkė Murgabo upę. Iš pradžių ežeras buvo nedidelis. 1913 metais jau buvo 28 km ilgio, 2 km pločio ir 279 m gylio. Vėliau ilgis padidėjo iki 75 km, o gylis ligi 500 m. Toliau ežero matmenys apsisusto, nes vanduo pro užtvankas ėmė filtruotis. Susidarė pusiausvyra: kiek į ežerą vandens įteka, tiek pro užtvanką prasisunkia.

Apledėjimo metu ledynai daug kur ežerus morenomis patvėnkė, daug kur dubenis paliko negyvojo, t. y. nejudančio, ledo luistai (ledo guolio dubenis) ir daug kur dubenis išnešė ledyniniai vandenys, tekėję nuo ledyno ar po ledynu.

Karstinės kilmės dubuo atsiranda, kai apatiniaime žemės sluoksnyje ištirpsta kuri nors medžiaga (pavyzdžiui, Lietuvoje — gipsas), o viršutiniai sluoksniai įdumba.

Iš upės vingių dažniausiai atsiranda upinės kilmės ežerai. Upės vandenys ima tekėti tiesesniu keliu, vingis (meandra) atkertamas, ir susidaro ežeras lanko ar pasagos pavidalo. Kai upė patvinsta, pavasarį ar po didelių liūtų, vandenys tuos ežerus užlieja, ir jie nustoja savaimingo ežerinio egzistavimo būdo. Vanduo upėje nuslūgsta, ir jie vėl virsta ežerais kaip buvę. Tokie ežerai — tai senvaginiai. Būt pasitaiko tiesiog vaginių ežerų. Pavyzdžiui, Sarpos ežerai į pietų vakarus nuo Vol-

gos deltos. Pavasarį tie ežerai susilieja ir iš jų susidaro vėl upė. Į vasarą iš upės vėl susidaro ežerų virtinė.

Vėjo sudarytais, arba eoliniais, vadinami tokie ežerai, kurių dubenys atsirado dėl vėjo defliacijos ir telkšo defliacinėse daubose ar įdubose tarp kopų, barchanų. Tokių ežerų pasitaiko prie Baltijos jūros, o taip pat sausuose kraštuose — Kazachstanė ir Vidurinėje Azijoje (Uzbekijoje, Turkmėnijoje).

Kai kada nerija atkerta jūros ar ežero įlankėlę. Dėl šios, o kai kada ir dėl kitų priežasčių atsiranda pajūriniai ir paėžeriniai ežerai, — jūrinės ar ežerinės kilmės ežerai.

Ežerai, susidarę dėl organinių medžiagų kaupimosi, arba organogeniniai ežerai, paprastai būna nedideli ir jie telkšo pelkėse kaip dar neužžėlusios ir neužakusios vietos durpyne. Prie šios grupės reikia priskirti taip pat ežerus, tyvuliuojančius koralų sudarytose salose.

Aukštesnieji organizmai — tai žmogus ir... bebrai. Ir jie, ne vien žmogus, gali užtventkti upę ir sudaryti ežerą. Žmogaus sudarytus ežerus dar vadina antropogeniniais.

Prie gamtinių priskirtini ir meteoritiniai ežerai, t. y. ežerai, kurių dubenys susidarė dėl kosminių jėgų, numetusių į žemės paviršių stambius meteoritus ir išmušusių tame paviršiuje nemažą įdubą, į kurią iš aplinkos susitelkia vandenys, ir atsiranda naujas ežeras, o gal tiksliau — ežerėlis, nes ir šios grupės ežerai paprastai būna nedideli. Bet pasitaiko ir gana didelių. Saremos saloje (Estijoje) yra meteoritinės kilmės Kali ežeras, kurio skersmuo siekia 110 m. Vakarinėje Afrikoje (Aukso Krante) yra tokios pat kilmės Bosumtvi ež., kurio skersmuo siekia net 8,4 km, o didžiausias gylis — 73 m.

*

M. A. Pervuchinas visų pirma ežerus skirsto pagal jų atsiradimo būdą. Jis nurodo, kad vieny ežerų dubenys atsirado medžiagoms pasišalinus iš tam tikros vietos, o kitų — medžiagoms susikaupus tam tikruose plotuose. Tokiu būdu ežerai skirstytini į duobtinius (vadinamus dar duburiniaisiais) ir patvenktinius, arba užtventkinius.

Pervuchinas ežerus pirmiausia suskirsto į keturis būrius:

- I. Endogeninės kilmės ežerai
- II. Egzogeninės
- III. Organogeninės
- IV. Antropogeninės

Kiekvienas iš šių būrių suskaidomas į ežerų grupes ir tipus. Susidaro tokia schema:

I. Endogeniniai ežerai

1. Tektoniniai

- a) Raukšliniai — dislokaciniai (muldų, brachisinklinų)
- b) Disjunktyviniai — dislokaciniai (grabenų)

2. Vulkaniniai (krateriniai; ežerai, susidarę dėl lavos tėkmės)

II. Egzogeniniai ežerai

1. Denudaciniai (kaarų)

2. Hidrogeniniai

- a) Sudaryti mechaninės tekančiųjų vandenų veiklos (eroziniai; evorsiniai; salpiniai, deltiniai)
- b) Sudaryti stovinčių vandenų veiklos (lagūniniai)
- c) Sudaryti cheminės vandenų veiklos (karstiniai)
- d) Sudaryti mechaninės požeminių vandenų veiklos (sufoziniai)

3. Glacigeniniai (egzaraciniai, moreniniai)

4. Eoliniai (defliaciniai; kopų; barchanų)

5. Meteoritiniai

III. Organogeniniai (durpynų, koralų).

IV. Antropogeniniai (akmens laužyklų, durpių kasyklų ir t. t.; tvenkiniai)

V būrį sudaro mišrios kilmės ežerai.

Palyginę matome, kad Hatčinsono ir Pervuchino schemos skiriasi tik detalumu, bet ne esme.

Kai naudojamosi, Pervuchino schema pagal vietos sąlygas šiek tiek modifikuojama ar detalizuojama. Pavyzdžiui, J. B. L i t i n s k i s Karelijos ežerus suskirsto į tektoninius, tektoninius-ledyninius, ledyninius-akumuliacinius, vandens erozinius (upinius), vandens akumuliacinius (lagūnos, limanai), karstinius, antrinius (pelkių), dirbtinius (antropogeninius), arba tvenkinius.

Ledyninės kilmės ežerų dubenų genezinės klasifikacijos schema buvo labiau detalizuota tuose kraštuose, kuriuos buvo padengęs paskutinis apledėjimas, palikęs daugybę neigiamųjų reljefo formų ir ežerų. Daugiausia šioje srityje yra pasidarbavęs P. Voldštedtas. Iš Vokietijos Voldštedto ir kitų sudaryta schema pateko į Lenkiją, Lietuvą, Švediją bei kitus kaimyni-

nus kraštus. P. Voldštedto pasekėjas Lenkijoje buvo V. Nechajus, kurio ežerų dubenų genezinės klasifikacijos schema Lenkijoje išsilaikė iki 1954 m. V. Nechajus skyrė rininius subglacialinius dubenis, rininius-plyšinius skersinius, rininius-plyšinius išilginius, patvenktinius, išslėgtinius, dugninės morenos, evorsinius, reliktinius, prieozinius, termokarstinius, drumlininius, „akis“, taip pat senvagių ir kopų patvenktinius ežerus.

1954 m. S. Maidanovskis paskelbė savo genezinę Lenkijos ežerų klasifikaciją. Joje išskiria rininius, dugninių morenų, galinių morenų, evorsinius, prieozinius, tarpdrumlininius, kalnų, upių-meandrinius ir senvaginius, išpustytų pažemėjimų patvenktinius, karstinius, gruntinių vandenų, „akis“ ir dirbtinius ežerus. Rininius ežerus, remdamasis Voldštedtu ir Nechajumi, jis dalija į subglacialinius, subarealinius ir intraglacialinius. Galinių morenų ežerus jis skaido į patvenktinius ir nepatvenktinius, o kalnų ežerus — į cirkinis, moreninius ir užtvenktinius.

Pirmoji pilnesnė Lietuvos ežerų klasifikacija buvo pateikta Č. Pakucko. Pagrindiniais bruožais ji yra panaši į P. Voldštedto ežerų klasifikaciją. Č. Pakuckas, tyrinėdamas pietinės Lietuvos geomorfologiją, ežerų dubenis suskirstė į rininius, dugninės morenos, galinių morenų užtvenktinius, ledo luistų guolinius ir evorsinius.

Vėliau A. Basalykas, tyrinėdamas Pietryčių Lietuvos geomorfologijos klausimus, išskyrė termokarstinius ežerus.

Lietuvos glacigenines rinas tyrinėjo A. Garunkštis.

Iki 1960 metų mūsų respublikoje ežerai buvo skirstomi į ledyninius, upinius ir karstinius. Ledyninės kilmės ežerai savo ruožtu skirstomi į ledo luistų guolinius, rininius, patvenktinius, sudėtinguosius, evorsinius, termokarstinius ir liekaninius.

Lietuvos ežerų tyrimui intensyvėjant, iškilo reikalas tiksliau juos geneziniu atžvilgiu suklasifikuoti. Tai buvo atlikta 1960 metais.

Atsižvelgiant į klausimus, kada, kas ir kaip sudarė ežerus, buvo paimti genezinei ežerų klasifikacijai trys principai: 1) ežerų dubenų susidarymo metas, 2) ežerų dubenis sudariusieji veiksniai ir 3) ežerų dubenų sudarymo būdas.

Atsižvelgę į trečiąjį principą, būtent į ežerų dubenų sudarymo būdą, turime visų pirma patvenktinius, arba užtvenktinius

ežerus ir šalia jų duobtinius. Ledynai užtvėnkė morenais, žmogus užtvėnkia upę užtvanka ir sudaro ežerą. Ledynų tirpsmo vandenys išnešė dideles ir ilgas rinas. Žmogus taip pat kai kada išduobia nors nedideliems ežerėliams — kūdroms — dubenis. Apskritai, ežero tipas gali būti arba patvenktinis, arba duobtinis.

Dėl antrojo principo, t. y. dėl ežero dubenis sudariusių veiksnių, tai tenka pasakyti, kad ledynmetinių ežerų dubenis formavo ledynai ir ledyniniai vandenys, o taip pat termokarstiniai procesai. Ledynas, tam tikrose vietose morenas kaupdamas, ežerus patvenkė, užtvėnkė. Negyvojo, t. y. nejudančio, ledo luistai taip pat buvo veiksnys, formavęs daugelio ežerų dubenis. Vieni tų luistų buvo atvirai, o kiti apnešti. Palaidotam ledo luistui ištirpus, apnašos įgriuvo, ir susidarė termokarstinės kilmės ežerai. Atvirieji luistai davė šiaip ledo luisto guolio dubenis. Ledas apsaugojo nuo užnešimo ledyninių vandenų išplautas rinas ar krintančio pro ledyno plyšį ar nuo jo krašto vandens srauto išmuštas, išmaltas duobes — evorsinių ežerų dubenis.

Panaudojus pirmąjį principą, t. y. atsižvelgus į ežerų dubenų susidarymo laiką, visi Lietuvos ežerai suskirstomi į du būrius: į glacialinius, arba ledynmetinius, ir į postglacialinius, arba poledynmetinius. Pirmieji sudaryti tik gamtos, o antrieji — vieni gamtos, kiti žmogaus.

Remiantis visais trimis principais, buvo gauta tokia schema.

Lietuvos ežerų genezinė klasifikacija

I. Glacialiniai, arba ledynmetiniai ežerai

1. Glacigeniniai

A) Patvenktiniai, arba užtvėnktiniai

- a) Galinių morenų
- b) Kalvoto moreninio reljefo
- c) Duginės morenos
- d) Limnoglacigeniniai, arba liekaniniai

B) Ledo luistų guoliniai ir termokarstiniai

2. Fliuvioglacigeniniai

- a) Rininiai
- b) Evorsiniai

3. Sudėtingieji

II. Postglacialiniai, arba poledynmetiniai ežerai

1. Gamtiniai

- a) Upiniai
- b) Limaniniai
- c) Karstiniai

2. Dirbtiniai

Aišku, ši schema už senąją šiek tiek sudėtingesnė, bet ji daug tikslesnė, labiau atitinkanti realią dalykų padėtį. Be to, ji sudaryta atsižvelgiant į tris principus: laiko, veiksnio ir būdo.

Galinių morenų patvenkti ežerai paprastai nedideli, netaisyklingos arba lenktos formos, dažniausiai pasagos pavidalo.

Yra gana daug ežerų, kurių dubenys susiformavo, galinėms morenoms arba kalvotam moreniniam reljefui (plačiaja šio žodžio reikšme) patvenkus dugninės morenos ar šiaip pažemėjimo teritoriją. Tai dažniausiai didelio paviršiaus ploto ežerai: jų dubenys netaisyklingos formos; paprastai jie nelabai gilūs, lėkšti. Čia galima paminėti Vištyčio, Platelių, Luodžio, Dysnų ir eilę kitų ežerų.

Duginėje morenoje ežerų Lietuvoje ne per daugiausia, nors kaip tik ši morena užima didžiausius plotus.

Limnoglacialinių ežerų dubenys susiformavo lygiai tokiu pat būdu kaip ir aukščiau minėtųjų, tik čia dėl patvenkimo susidarė dideli limnoglacialiniai baseinai, kuriuose dabartiniai ežerai yra tik liekanos. Pavyzdžiu tokių ežerų gali būti Žuvinto ir Amalvo ežerai.

Ledo luisto guolinių ežerų dubenys susidarė, ištirpus ledo luistams, besitraukiančio ledyno žemesnėse reljefo vietose paliktiems. Šių ežerų dugnas dažniausiai būna nelygus. Tiek įdubimai, tiek iškilimai ežere išsidėstę netaisyklingai. Ežerų krantai gana taisyklingi, nevingiuoti; gylis gana įvairus. Prie šio tipo tenka priskirti Dusios, Metelio, Obelijos ir kai kuriuos kitus ežerus.

Termokarstinių ežerų daugiau pasitaiko Lietuvos pietryčių smėlėtoje lygumoje, Merkio baseino dešiniojoje pusėje, Žeimenos baseine ir kitur. Ir čia ledo luistas gulėjo, tik po gana storu įvairių apnašų sluoksniu. Jam ištirpus, tas sluoksnis įdubo.

Fliuvioglacialinių vandenų suformuotų ežerų dubenų Lietuvoje yra daug. Jų tarpe vyrauja rininiai, kurių dubenys ilgi,

siauri, gilūs, neretai su taisyklingai išilgai dubenį išsidėsčiusiais įdubimais; krantai statūs, iš dalies tiesūs, iš dalies vingiuoti, paprastai lygiagretūs. Iš visa ko matyti, kad jie išplauti vandenų, tekėjusių po ledynu, nuo ledyno ir už ledyno. Prie šio ežerų tipo reikia priskirti Sartų, Tauragnų, Dubingių, Baltąjį ir Juodąjį Lakajų, Gausto, Galadusio ir kitus, į juos panašius ežerus. Jų visų forma labai ištęsta. Apskritos formos ežerus, kaip rininių priešingybę, galima apibendrinti terminu — cirkiniai ežerai.

Antrąjį fliuvioglacialinių ežerų tipą sudaro evorsiniai ežerai. Tai nedideli, apskritos formos, gana gilūs ežerai. Apskritai, šio tipo ežerų dubens forma labai panaši į apversto konuso formą. Tai rodo, kad jie išduobti sūkuriu fliuvioglacialinių vandenų, kritusių iš tam tikro aukščio pro ledo plyšį arba nuo jo krašto.

Sudėtinguosius dubenis suformavo keli veiksniai: pats ledynas arba ledo luistas ir fliuvioglacialiniai vandenys. Dažniausiai vieną tokio ežero dalį galima laikyti rininiu ežeru, o kitą — ledo luisto guolio ar užtventiniu. Šio tipo ežerų ir forma nepaprastai sudėtinga. Jų gylis įvairiose ežero dubens vietose labai skirtingas, dugnas dažniausiai nelygus, daug salų bei pusiasalių. Sudėtingojo tipo ežerų yra gana daug. Žymesni iš jų: Avilių, Alaušo, Dringių, Drūkšių, Trakų grupės ežerai, Daugų ir kt.

Upinės kilmės ežerai, kaip esame jau sakę, dažniausiai susidaro, atsiskyrus upių vingiams (meandroms), ar upei pakeitus vagą. Kai kada upinės kilmės ežerėliai susidaro ir kauburiuotose salpose. Dauguma atvejų tai laikinio pobūdžio ežerėliai. Pavasarinių potvynių metu jie išnyksta, nes susilieja su upe. Daugiausia šių ežerų pasitaiko Nemuno žemupyje, Nevėžio, Merkio ir kitų upių slėniuose.

Limaninės kilmės ežerų esama tik kelių Nemuno deltoje prie pat Kuršių marių. Didžiausias iš jų — Krokų Lankos ežeras, esantis ties Nemuno (Atmatos) ir Minijos žiotimis. Jo dubuo, tikriausiai, atsirado, atitvėrus sąnašoms Kuršių marių įlankė.

Karstiniai ežerėliai koncentruojasi Lietuvos šiaurinėje dalyje. Jie susidaro gruntiniams vandenims išplovus gipsus ir įgriuvus virš gipsų esančių nuogulų sluoksniams. Karstinės kilmės ežerų paviršiaus plotas ir gylis nedideli.

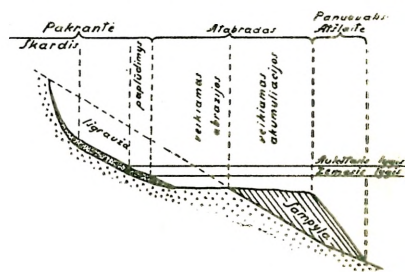
Dirbtinių ežerų kilmė siejasi su žmogaus veikla, todėl jie dažnai vadinami antropogeniniais ežerais. Tokie ežerai susidaro užtvėnkus upes ir upelius, pavyzdžiui, Rokiškyje, taip pat išeksplotavus durpynus, molynus. Prie šio tipo tenka priskirti ir specialiai iškastus ežerėlius, kūdras. Kai kurie dirbtiniai ežerai gana dideli, todėl jie hiperbolizuojant vadinami mariomis. Mums žinomiausios — Kauno marios.

Žinoma, kai formavosi ledynmetinio ežero dubuo, tai drauge formavosi ir paežerė bei apyežeris. Kai kurių ežerų apyežerėje pastebimos terasės. Daug kur jos gana ryškios. Pavyzdžiui, Dusios ežero, vykstant nuo Šventežerio. Manoma, kad ežerų terasės susidarė tuo pačiu metu, kaip ir upių terasės. Tarp kai kurių ežerų ir upių terasių genezės esama aiškaus sąsąjio.

c) Litoralinės zonos formavimasis

Ežero zonas ir sritis smulkiau aptarsime, kai kalbėsime apie ežerą biologiniu požiūriu. Šiuo tarpu morfologiniu atžvilgiu panagrinėsime tik litoralinę zoną, nes ji, bangų veikiamą, sparčiausiai formuojasi ir de formuojasi.

Visų pirma susidomėsime litoralinės zonos ir tos vietos, kur vandenys susiduria su sausuma, t. y. pakrantės, morfologine sudėtimi. Ji pavaizduota 15 pav.

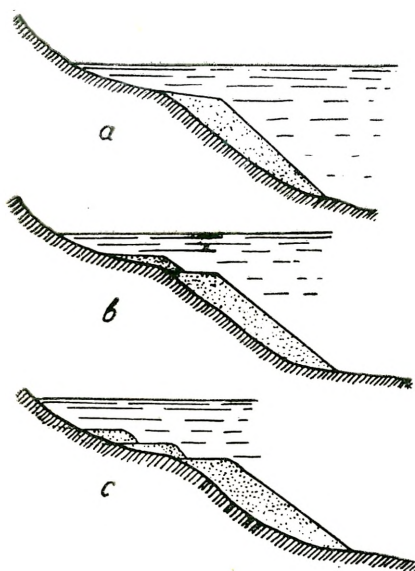


15 pav. Bangų poveikis į statų krantą ir litoralinę zoną

Ežero vandens lygiui pakilus, bangos siekia gana aukštai, ir krantą jos ardo. Pakrantėje susidaro skardis ir jame — išgrauža, arba išplova. Iš išgraužtų (abraduotų) žemių pamažu supilama po vandeniu sampyla. Jos viršus sudaro dalį atbrado, o nuožulnasis jos šonas, sampylos atšlaitė, vadinamas panuovaliū. Ta pakrantės dalis, kuri tarpais būna sausa, bet tarpais paplūsta, vadinama paplūdimiu.

Sampyla gali būti ne tik paprasta, bet ir sudėtinga, kuri susidaro tada, kai paviršiaus lygis labai ir gana pastoviai pakinta (16 pav.).

Litoralinės zonos formavimasis visų pirma priklauso nuo kranto sąrangos ir sudėties. Jei krantas sudėtas iš atsparių



16 pav. Paprasta ir sudėtingos sampylos

uolinių, tai jis nesiduoda sparčiai ardomas, ir litoralinė zona vystosi lėčiau.

Reikšmingos taip pat velėninė ir augalinė krantų danga. Ir viena, ir kita prisideda prie kranto atsparumo.

Daug reikšmės turi ir kranto profilis — šlaito polinkis. Nuolaidus krantas silpniau ardomas negu status, įgaubtas silpniau negu išgaubtas. Pakrantėje, kurios volinkio kampas mažesnis negu 4° , abrazija nepasireiškia, o jei pakrantės polinkio kampas mažesnis negu 2° , vyksta medžiagų akumuliacija:

vanduo medžiagų ne tik kad neišplauna, bet dar jų pakrantėje palieka.

Jei krantas gana lėkštas ir sudarytas iš smėlio, akmenukų ir akmenų, tai gožos metu bangos, grįždamos, pajėgs panėšėti ežero centrinės dalies linkui tik smėlį. Akmenukų, o ypačiai akmenų, neštis nepajėgs. Gožos jėgos dar juos pastūmės kiek paežerės linkui. Tuo būdu krantas lieka išskaidytas į smėlio, akmenukų ir akmenų ruožus.

Kai ežero krantai statūs, tai jo paviršiaus plotas, vandeniui pakilus, mažai pasikeičia, o kai krantai lėkšti, tai ežero paviršius, vandeniui pakilus, žymiai padidėja.

Nepaprastą reikšmę litoralinės zonos ir apskritai krantų formavimui turi ne tik ežero paviršiaus, bet ir gruntinių vandenių lygio, arba horizonto, svyravimai. Juo tie svyravimai didesni, tuo intensyviau vyksta krantų formavimas bei performavimas, ir tuo platesnė poveikio juosta. Jei tą juostą (dalį pakrantės ir visą atabrądą), ar zoną (jos plotį) pažymėsime raide L , ežero

lygio svyravimų dydį — raide H , vidutinį bangos aukštį — h_v , bangų siekiamą aukštį — h_b ir pakrantės polinkio kampą — α , tai visus šiuos dydžius galėsime susieti tokia empirine formule:

$$L = \frac{H + 2h_v + h_b}{\operatorname{tg} \alpha}. \quad (5)$$

Ežero krantus formuoja ne tik bangos ir srovės, bet ir ledas. Lytys juos aria, ardo. Ledo deformuojamoji jėga dažnai siekia keleto (5—7) metrų pločio juostą. Ledo lytys, išmestos į krantą ir ten ištirpusios, palieka įvairių medžiagų. Iš tų medžiagų susidaro net žymios sampylos, bet šiuo tarpu ne vandenyje, o sausumoje.

Ežero pakraščiai greičiau įsyla, bet greičiau ir atvėsta. Tai turi įtakos įvairiems cheminiams procesams, nuosėdų susidarymui ir visam litoralinės zonos formavimuisi.

Prie litoralinės zonos formavimo labai prisideda pakrantės ir ežero pakraščio augalija. Augalai stabdo bangų poveikį ir tuo būdu litoralinės zonos vystymąsi lėtina. Iš kitos pusės — spartina, nes jie miršta, organinės medžiagos akumuliuojasi, ilgainiui sudurpėja ir pagaliau patį ežerą paverčia durpynu.

Ežero dubens kitime pastebėtinios dvi tendencijos: formuoti krantus ir kaupti dugnines nuosėdas, kurių didelę dalį sudaro organinės medžiagos. Abi šias tendencijas specialiai aptarsime ketvirtojoje šio veikalo dalyje.

II. EŽERO MORFOMETRIJA

1. APIE MORFOMETRIJĄ APSKRITAI

a) Kas yra morfometrija

Pagal žodžių sandarą morfologija yra formų mokslas, o morfometrija — formų matavimas. Velčas morfometrija vadina tą limnologijos šaką, kuri turi reikalo su dubens ir jame susitelkusios vandens masės reikšmingų morfologinių savumų matavimu. Iš tikrųjų morfometrija priklauso ne vien limnologijai, bet geografijai apskritai, ypačiai geomorfologijai, kuriai tolydžio tenka turėti reikalo ne vien su kokybiniu, bet ir su kiekybiniu reljefo formų aspektu. „Morfometrija yra toji geografijos mokslo šaka, kuri geografijos objekto pavidalą stengiasi išreikšti skaičiais“, — sako Forelis. O limnologas Vereščiaginas šitaip ežero morfometriją aptaria: „Matematinų dydžių, išreiškiančių ežerų morfologiją, teorija kaip tik yra ežerų morfometrija“.

Taigi ir ežero morfometrija stengiasi ežerą apibūdinti skaičiais. Tų skaičių, arba morfometrinių rodiklių, esama gana daug, todėl teks juos grupuoti, nors liesime pačius svarbiausius duomenis, visus antraeilius morfometrinius rodiklius palikdami nuošalyje.

b) Ežero morfometrijos rodiklių klausimo reikšmė ir svarbesnieji jo istorijos momentai

Teorinė ir praktinė tyrimų vertė priklauso, iš vienos pusės, nuo bendrojo jų organizavimo, t. y. nuo lauko, laboratorinių ir kamerinių darbų tikslumo ir tikslingumo, o iš kitos pusės — nuo atskirų rodiklių racionalumo. Morfometrijos srityje šitai suprasta iš pat pradžių, dėl to morfometrinių rodiklių klausimas yra senas, bet nuolat keliamas iš naujo ir iš naujo sprendžiamas. Tai rodo gausi šiuo klausimu literatūra, pasirodžiusi nuo 1830 metų ligi mūsų dienų. Pažymėsime svarbesniųjų veikalų autorius ir tuo lyg nusmaigstysime klausimo istorijos gaires, pabrėšime svarbesnius tos istorijos momentus.

Visų pirma minėtinas Karlas Riteris (1779—1859), kuris drauge su Aleksandru Humboldtu (1769—1859) laikomas vienu iš pirmųjų naujosios geografijos kūrėjų. Jis 1826 m. gruodžio mėn. 14 dieną skaitė paskaitą apie kontinentų geografinę padėtį ir horizontalų jų išplitimą, paliesdamas ne vieną morfometrinių duomenį. Šiuos duomenis jis lietė ir kituose savo darbuose.

1830 m. ir vėliau morfometrinius duomenis, jų skaičiuje — krantinės išsivystymą, nagrinėjo H. Berghausas.

1835 m. buvo išspausdintas Nagelio darbas, kuriame jis pasiūlė krantinę lyginti su apskritimu skritulio, lygiapločio su ežero paviršiumi. Nagelio formulė vartojama ir mūsų dienomis, bet stengiamasi ją pakeisti tobulesne formule, tinkančia didesniam atvejų skaičiui ir tiksliau krantinę, jos vingiuotumą, būdinančia.

Toliau ligi 1890 m. paskelbė didesnės ar mažesnės apimties darbus daugiau kaip 30 autorių, nagrinėdami ar tik daugiau ar mažiau paliesdami tai tą, tai kitą morfometrinių duomenį.

Ypačiai intensyviai morfometrija ėmė vystytis po 1890 metų. Nuo 1890 ligi 1901 metų pasirodė ežero morfometrijai labai

svarbūs K. Poikerio, A. Penko, V. Halbfaso, A. F. Forelio ir kt. darbai.

Rusijoje 1902 m. pasirodė E. Markovo darbas, o 1908 m. J. Šokalskio darbai.

Tarybiniais laikais pasireiškė A. Bobrikas (pirmas jo darbas pasirodė 1914 metais, o vėliau — 1924 ir 1925). Toliau seka L. Rosolimas (1925), G. Vereščiginas, S. Muraveiskis.

G. J. Vereščigino darbas, išėjęs 1930 metais, vainikuoja visa, kas iki to laiko buvo ežero morfometrijos srityje padaryta.

Lenkijoje maždaug tuo pačiu metu ežerų morfometrijos klausimu rašė J. Jačinskis (Jaczynowski, 1929).

S. D. Muraveiskis darbe, išspausdintame 1948 metais, kritiškai nagrinėja svarbesnius ligi šiolei paskelbtus morfometrinius darbus ir stengiasi ežero morfometriją praplėsti, nesitenkindamas vien formaliomis pozicijomis, bet visur, kur tik įmanoma, laikydamasis realių. J. B. Litinskis 1956 m. nušvietė kai kuriuos Karelijos ežerų morfologijos ir morfometrijos klausimus.

Estijoje morfometrijos klausimus lietė H. Riikojä (1930), E. Markus ir kt. Latvijos ežerų morfometrijos klausimus nagrinėjo L. Slaucitajis (1935), B. Berzinis (1943) ir kt. Lietuvoje ežero morfometriją lietė K. Biečiukas (1937 ir 1958) ir V. Chomskis (1956).

c) Morfometrinių rodiklių klasifikacija

Ežero morfometrinių rodiklių gausumas ir įvairumas iškelia reikalą juos klasifikuoti vienokiu ar kitokiu pagrindu. Nuosekliausiai juos suklasifikavo G. J. Vereščiginas, stengdamasis apimti kuo didžiausią jų skaičių. Vereščigino klasifikacija labai sudėtinga, taigi praktikai ne per patogi, nors teoretiniu atžvilgiu labai įdomi ir reikšminga. Pastebėtinas morfometrinių duomenų skirstymas į tiesioginius ir į išskaičiuotus. Prie pirmosios kategorijos priklauso ežero ilgis, didžiausias plotis, didžiausias gylis, o taip pat ežero perimetro, arba krantinės, ilgis ir izobatų ilgiai, ežero paviršiaus plotas ir izobatinių paviršių plotai. Nustatant šiuos rodiklius, atliekami lauko ar kameriniai darbai, pasinaudojant žemėlapiiais, planais, liniuote,

skriestuvu, kurvimetru, palete, planimetru. Nustatant skaičiuotinius rodiklius, atliekami tik kameriniai darbai.

Mes laikysimės daug paprastesnės negu Vereščiagino morfometrinių rodiklių klasifikacijos, būtent tokios:

- | | | | |
|------|------------|--------------|------------------------|
| I. | Rodikliai, | būdinantieji | ežero aplinką. |
| II. | „ | „ | „ paviršių. |
| III. | „ | „ | „ dubens tūrį. |
| IV. | „ | „ | „ dubens pavidalą. |
| V. | „ | „ | „ dugną ir jo reljefą. |
| VI. | „ | „ | „ vandens masę. |

Rodiklių kategorijos nuosekliai eina viena po kitos: ežero aplinka, paviršius, dubens (drauge ir vandens) tūris, dubens pavidalas, dugnas ir jo reljefas, pagaliau ežero vandens masė, kurios būvį sąlygoja ežero baseinas, intakai ir ištakai. Gaunamas pilnas ežero vaizdas. Skirstymas palyginti nesudėtingas, dėl to gana praktiškas.

2. I grupė: RODIKLIAI, BUDINANTIEJI EŽERO APLINKĄ

Prie šios kategorijos duomenų priklauso ežero geografinė padėtis ir jo paviršiaus altitudė. Šie duomenys nurodo klimatinę, o iš dalies net landšaftinę zoną, kuriai ežeras priklauso. Įsidėmėtina, kad geografinė padėtis gali būti reliatyvi, kai nurodoma ežero padėtis kurios nors vietovės ar kito ežero atžvilgiu, ir absoliuti, kai nurodoma ežero paviršiaus centro koordinatos: φ — geografinis plotis ir λ — geografinis ilgis. Labai didelių ežerų nurodomi dar kraštiniai taškai — pietuose ir šiaurėje, rytuose ir vakaruose.

Ežero paviršiaus altitudė taip pat gali būti reliatyvi ir absoliuti: reliatyvi, kai ji matuojama nuo kito ežero paviršiaus lygio, pvz., Šveicarijoje nuo Ženevos ežero paviršiaus lygio; absoliuti, kai altitudė matuojama nuo jūros lygio. Jūros lygio taškai (NN) yra nustatyti Tarybų Sąjungoje prie Kronštado, o Vakarų Europoje prie Amsterdamo.

Šios kategorijos duomenis limnologams ir apskritai geografsams pateikia astronomai, geodezininkai, kartografsai. Taigi matematinė jų pusė yra visiškai aiški. Tenka tik vieną kitą žodį pasakyti dėl altitudės.

Paprastai nuo reperio, t. y. nuo taško, kurio absoliuti altitudė žinoma, niveliacijos būdu surandama reliatyvi ežero paviršiaus altitudė ir ji pridedama prie taško absoliučios altitudės. Tokiu būdu surandama ežero paviršiaus absoliuti altitudė. Jei nuo reperio tenka leisti žemyn, tai reliatyvioji altitudė bus su minusu, o jei reikia kilti aukštyn — tai su pliusu. Reliatyviosios altitudės neigiamumo ir teigiamumo nereikia pamiršti.

Kadangi ežero paviršiaus lygis tai pakyla, tai nuslūgsta, reikia imti vidutinį ežero paviršiaus lygį, arba horizontą, kuris surandamas iš formulės:

$$h_v = \frac{h_a + h_z}{2}, \quad (6)$$

kur h_v — vidutinis ežero lygis, h_a — aukščiausias, h_z — žemiausias.

Nurodant ežero aprašyme geografinę padėtį ir altitudę, nereikia pamiršti ir ežero prieinamumo: reikia nurodyti, kuriais keliais ežeras pasiekiamas ir kuriose vietose lengvai prieinamas.

Pirmosios grupės rodikliai ežero charakteristikai yra tokie reikšmingi, jog ežero aprašyme jie pateikiami pirmiausia.

3. II grupė: EŽERO PAVIRŠIAUS RODIKLIAI

Iš morfometrinių ežero paviršiaus rodiklių svarbiausi: ilgis, plotis, paviršiaus plotas ir perimetro, arba krantinės, ilgis.

a) Ilgis; plotis

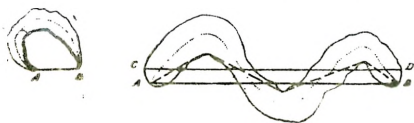
Ežero ilgis l nėra tokia paprasta sąvoka, kaip iškart atrodo. Tiesa, esama atvejų, kada ji būna labai paprasta. Tai atvejai, kada ilgį įmanoma matuoti tiesia linija, sutampančia su didžiąja ežero ašimi, neišeinančia iš ežero paviršiaus ribų. Tokie paprasti atvejai nereti. Pavyzdžiui, visų 14 Dovinės baseino ežerų ilgį buvo galima išmatuoti kaip tik šiuo būdu. Kai didžioji ašis išeina iš ežero paviršiaus ribų, tada atsiranda įvairių keblumų.



17 pav. Ežero ilgis AB pagal Muravejskį

Paprastai ežero ilgis šitaip apibrėžiamas: l yra trumpiausias nuotolis tarp dviejų labiausiai nutolusių nuo vienas kito krantinės taškų, išmatuotas ežero paviršiumi, ir tokiu būdu pavaizduojamas (17 pav.).

Išsiūrėjus į 17 paveikslėlį, nesunku pastebėti, kad iš tikro jame ežero ilgis AB pavaizduotas tiktai vieno ežero, būtent iš kairiosios pusės pirmojo. Šito ežero AB tikrai vaizduoja ežero ilgį, bet kitų dviejų ežerų, tiesa, vaizduoja trumpiausią nuotolį tarp dviejų labiausiai nuo vienas kito nutolusių krantinės taškų, išmatuotą ežero paviršiumi, bet ne ilgį. Paskutinių dviejų



18 pav. Ežerai pasagos ir upės pavidalo; tarp taškų A ir B : ištisinė linija — trumpiausias nuotolis, vykstant akvatorija ir teritorija; brūkšninė — trumpiausias nuotolis, vykstant vien ežero paviršiumi; taškinė — ežero ilgis, matuojamas, vykstant medialine linija. Linija CD — didžioji ašis

ežerų ilgį reiktų matuoti, nelyginant upės, medialine, arba vidurine, linija.

Nuotolis AB antrajame ir trečiajame ežere praktiškai labai svarbus. Pavyzdžiui, jei tarp taškų A ir B tektų irtis valtimi ar baidare, be abejo, nieks nesiurtų kita linija, o tik linija AB . Vis dėlto jos laikyti ežero ilgiu negalima.

Žodžiu, į labai ištįsusius ir išsikraipiusius ežerus, pvz., į Dubingių, galima žiūrėti kaip į upę ir ilgį matuoti, atsižvelgiant į krantus, vidurine linija (18 pav.).

Iš 18 pav. matyti, kad tarp taškų A ir B reikia skirti net tris nuotolius: 1) trumpiausią, vykstant ne vien akvatorija, bet ir teritorija ar net tik viena teritorija (ištisinė linija); 2) trumpiausią, vykstant tik akvatorija (brūkšninė linija) ir 3) ežero ilgį (taškinė linija), t. y. nuotolį tarp taškų A ir B , vykstant medialine linija. Iš šių trijų nuotolių nė vienas nesutampa su didžiąja ašimi CD . Iš jų du sutaptų, jei ta ašis eitų tik vandens paviršiumi. Norint tokiu atveju iš taško A į tašką B vykti sausuma, tektų keliauti krantine.

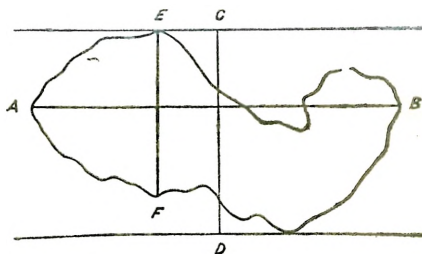
Sudėtingus ežerus tenka skaidyti ir nustatinėti ilgį kiekvienos ežero šakos atskirai.

Tai kaipgi iš tikro reiktų ežero ilgį apibrėžti? — Iki šiolei paaiškėjo du dalykai: 1) ežero ilgį reikia matuoti tarp dviejų labiausiai nuo vienas kito nutolusių krantinės taškų ir 2) reikia matuoti ežero paviršiumi. Bet ne visuomet tas nuotolis tarp tų dviejų taškų turi būti trumpiausias. Trumpiausias gali būti, kai jį įmanoma matuoti didžiąja ežero ašimi. Kai matuojama medialine linija, tai tas nuotolis nebūna trumpiausias. Gali būti ir trumpesnis, bet tai nebus ežero ilgis. Taigi ežero ilgį

reikėtų laikyti nuotolį tarp labiausiai nutolusių nuo vienas kito krantinės taškų, išmatuotą ežero paviršiumi, vykstant arba didžiają ašimi, arba vidurine linija.

Cia reikalinga viena pastaba: jeigu matuojant ilgį ar tiesiant didžiąją ašį, pasitaiko sala, tai į ją nekreipiami dėmesio ir elgiamasi taip, lyg salos vietoje būtų akvatorija.

Didžiausias ežero plotis yra tiesiosios atkarpa, lygiagretė mažajai ašiai ir jungianti du labiausiai nutolusius nuo vienas kito ežero krantinės taškus (19 pav.).



19 pav. Ežero didžioji ašis (AB), mažoji (CD) ir didžiausias plotis (EF)

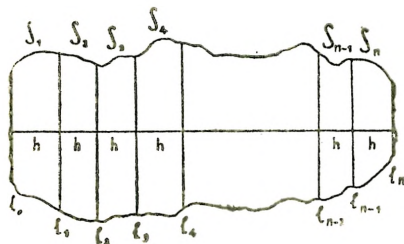
Norint rasti vidutinį plotį, reikia ežero paviršių a_0 vaizduotis stačiakampiu, kurio viena kraštinė lygi ežero ilgiui l . Antroji tokio stačiakampio kraštinė kaip tik ir bus vidutinis plotis b_v . Tai, kas sakytą, galima išreikšti formulėmis:

$$a_0 = lb_v \text{ ir } b_v = \frac{a_0}{l}, \quad (7)$$

t. y. norint surasti vidutinį ežero plotį, reikia padalyti paviršiaus plotą iš ežero ilgio.

b) Paviršiaus plotas

Ežero paviršiaus ploto matavimas — geodezinis, lauko ir kamerinis, darbas, atliekamas tam tikrais geodezijos nurodomais metodais ir instrumentais.



20 pav. Ežero plotas, suskaidytas vienodo pločio h ruožais $S_1, S_2, S_3, \dots$

Raidė $l_0, l_1, l_2, \dots$ žymi skaidančių linijų ilgius

Ežero paviršių, natūroje ar plane, galima suskaidyti trikampiais ir išskaičiuoti kiekvieno trikampio plotą. Tuos plotus sudėjus, bus gautas ežero paviršiaus plotas.

Galima ežero paviršių, natūroje ar plane, suskaidyti

trapecijomis (20 pav.). Tai yra ežero paviršių galima lygiagre-
tėmis tiesiosiomis $l_0, l_1, l_2, \dots, l_n$, einančiomis viena nuo kitos tuo
pačiu nuotoliu h , suskaidyti ruožais, kurių plotai $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$
yra atitinkamai lygūs:

$$S_1 = \frac{l_0 + l_1}{2} \cdot h;$$

$$S_2 = \frac{l_1 + l_2}{2} \cdot h;$$

$$S_3 = \frac{l_2 + l_3}{2} \cdot h;$$

$$\dots\dots\dots$$

$$\dots\dots\dots$$

$$S_n = \frac{l_{n-1} + l_n}{2} \cdot h.$$

Ruožų plotus sudėję, gausime ežero paviršiaus plotą:

$$\begin{aligned} a_0 &= S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n \\ &= \frac{l_0 + l_1}{2} \cdot h + \frac{l_1 + l_2}{2} \cdot h + \dots + \frac{l_{n-1} + l_n}{2} \cdot h \\ &= \frac{h}{2} (l_0 + 2l_1 + 2l_2 + 2l_3 + \dots + 2l_{n-1} + l_n) \\ &= h \left(\frac{l_0}{2} + l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_{n-1} + \frac{l_n}{2} \right), \end{aligned}$$

arba tiesiai:

$$a_0 = h \left(\frac{l_0}{2} + l_1 + l_2 + \dots + l_{n-1} + \frac{l_n}{2} \right). \quad (8)$$

Įsidėmėtina, kad šioje formulėje raidės $l_0, l_1, l_2, \dots$ reiškia il-
gius tiesių linijų, skaidančių plotą lygaus pločio h ruožais.

Jei ežero paviršių suskaidytume į lyginį ruožių skaičių ir im-
tume juos po du, tai gautume figūras, taip pat artimas tra-
pecijai. Pirmieji du ruožai sudarytų trapeciją su pagrindais l_0
ir l_2 . Vidurinė linija būtų

$$l_1 = \frac{l_0 + l_2}{2}, \text{ arba } l_0 + l_2 = 2l_1.$$

Šios trapecijos plotas būtų:

$$S_1 = \frac{l_0 + l_2}{2} \cdot 2h = (l_0 + l_2) \cdot h.$$

Jei vieną daugmenį padauginsime iš 3, o kitą iš 3 padalysime, tai sandauga nepakis:

$$S_1 = 3(l_0 + l_2) \cdot \frac{h}{3},$$

arba

$$S_1 = \frac{h}{3} (l_0 + l_2 + l_0 + l_2 + l_0 + l_2).$$

Prisiminę, kad $l_0 + l_2 = 2l_1$, galime parašyti:

$$S_1 = \frac{h}{3} (l_0 + l_2 + 2l_1 + 2l_1) = \frac{h}{3} (l_0 + 4l_1 + l_2),$$

arba tiesiai:

$$S_1 = \frac{h}{3} (l_0 + 4l_1 + l_2).$$

Tokiu pat būdu surastume ir antrųjų dviejų ruožų plotą:

$$S_2 = \frac{h}{3} (l_2 + 4l_3 + l_4).$$

Trečiųjų dviejų ruožų plotas būtų:

$$S_3 = \frac{h}{3} (l_4 + 4l_5 + l_6);$$

.....

.....

Paskutinių dviejų ruožų plotas būtų:

$$S_k = \frac{h}{3} (l_{n-2} + 4l_{n-1} + l_n).$$

Kadangi imama vis po du ruožu, tai indeksas $n = 2k$.

Visus plotus sudėję, gautume bendrą plotą:

$$S = a_0 = \frac{h}{3} (l_0 + 4l_1 + 2l_2 + 4l_3 + 2l_4 + 4l_5 + 2l_6 + \dots + 2l_{n-2} + 4l_{n-1} + l_n), \quad (9)$$

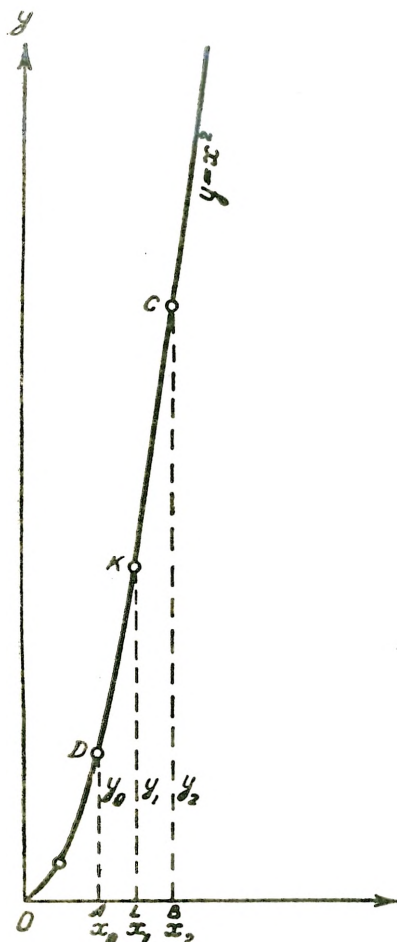
t. y. gautume Simpsono formulę*, kurioje antrojo daugmens dėmenis galėtume įvairiai sugrupuoti, pavyzdžiui:

$$a_0 = \frac{h}{3} [(l_0 + l_n) + 4(l_1 + l_3 + l_5 + \dots + l_{n-1}) + 2(l_2 + l_4 + l_6 + \dots + l_{n-2})]. \quad (9a)$$

Indeksą n galėtume pakeist indeksu $2k$.

* Tomas Simpsonas — anglų matematikas (1710—1761).

Simpsono formulė dar vadinama paraboline, nes gaunama, skaičiuojant parabolinių trapecijų plotus. Imkime, pavyzdžiui, paprasčiausią parabolę $y=x^2$ ir sakykime, kad DC (21 pav.)



21 pav. $ABCD$ — parabolinė trapecija; $AL=LB=h$; $OA=x_0$ ir t. t.; $AD=y_0$ ir t. t.

yra jos lankas. Parabolinės trapecijos $ABCD$ pagrindus AD ir BC pažymėkime simboliais y_0 ir y_2 , o vidurinę liniją LK simboliu y_1 . Aukštinės AB pusė $AL=LB=x_1-x_0=x_2-x_1=h$, o $x_2-x_0=2h$. Taip pat pastebėkime, kad $x_1=x_0+h$ ir $x_1=x_2-h$; taigi $2x_1=x_0+x_2$, arba $x_2+x_0=2x_1$; be to, jei $y=x^2$, tai $y_0=x_0^2$, $y_1=x_1^2$ ir $y_2=x_2^2$.

Trapecijos $ABCD$ plotas bus:

$$\begin{aligned}
 S &= \int_{x_0}^{x_2} x^2 dx = \frac{1}{3} x_2^3 - \frac{1}{3} x_0^3 \\
 &= \frac{1}{3} (x_2^3 - x_0^3) \\
 &= \frac{1}{3} (x_2 - x_0) (x_2^2 + x_2 x_0 + x_0^2) \\
 &= \frac{1}{3} [2h (x_2^2 + x_2 x_0 + x_0^2)] \\
 &= \frac{h}{3} (2x_2^2 + 2x_2 x_0 + 2x_0^2) \\
 &= \frac{h}{3} [x_2^2 + (x_2^2 + 2x_2 x_0 + x_0^2) + x_0^2] \\
 &= \frac{h}{3} [y_2 + (x_2 + x_0) (x_2 + x_0) + y_0] \\
 &= \frac{h}{3} (y_2 + 2x_1 \cdot 2x_1 + y_0) \\
 &= \frac{h}{3} (y_0 + 4x_1^2 + y_2) \\
 &= \frac{h}{3} (y_0 + 4y_1 + y_2),
 \end{aligned}$$

arba tiesiai:

$$S = \frac{h}{3} (y_0 + 4y_1 + y_2).$$

Tokiu pat būdu, tik šiek tiek sudėtingesniu, šią formulę būtume gavę, jeigu būtume ėmę ne tokią paprastą parabolę, bet, pavyzdžiui, $y = px^2 + qx + r$. Ir šiuo atveju būtume gavę tokį pat rezultatą, t. y. Simpsono formulę.

*

Dažnai būna įdomu ežero paviršių palyginti su skrituliu, į kurį būtų galima ežerą įtalpinti. Tokiu būdu atsiranda ežero paviršiaus išplitimo rodiklis, kuris surandamas iš formulės:

$$J_p = \frac{a_0}{\pi R^2}, \quad (10)$$

kur J_p — paviršiaus išplitimas, a_0 — ežero paviršiaus plotas, R — aplink ežerą apibrėžto apskritimo spindulys, lygus pusei ilgosios ežero ašies.

*

Kurios nors teritorijos ežeringumo koeficientas surandamas iš formulės

$$k_e = \frac{\Sigma a_0}{T} \cdot 100 (\%), \quad (10a)$$

kur k_e — ežeringumo koeficientas, išreikštas teorijos procentais, Σa_0 — visų teritorijoje T esančių ežerų paviršių plotų suma.

c) Perimetras, arba krantinės linija

Ežero perimetro, arba krantinės linijos, ilgis žemėlapyje matuojamas mikrometriniu skriestuvu 1—2 mm žingsniu. Kai krantinė nevingiuota, galima pasinaudoti ir kurvimetru.

Čia vėl ežeras lyginamas su skrituliu, bet su ežero paviršiumi lygiapločiu, o krantinė — su tokio skritulio apskritimu. Taigi krantinės išsivystymas surandamas iš formulės:

$$J_k = L : C, \quad (11)$$

kur J_k — krantinės išsivystymas, L — krantinės ilgis, C — apskritimas skritulio S , kurio plotas lygus ežero paviršiaus plotui a_0 . Taigi abiejų plotų, a_0 ir S , bendra formulė tokia:

$$a_0 = S = \pi R^2,$$

kur R — skritulio S spindulys.

Iš čia:

$$R^2 = \frac{a_0}{\pi} \text{ arba } R = \sqrt{\frac{a_0}{\pi}}.$$

Toliau

$$C = 2\pi R = 2\pi \sqrt{\frac{a_0}{\pi}} = 2\sqrt{\pi a_0},$$

arba tiesiai

$$C = 2\sqrt{\pi a_0}.$$

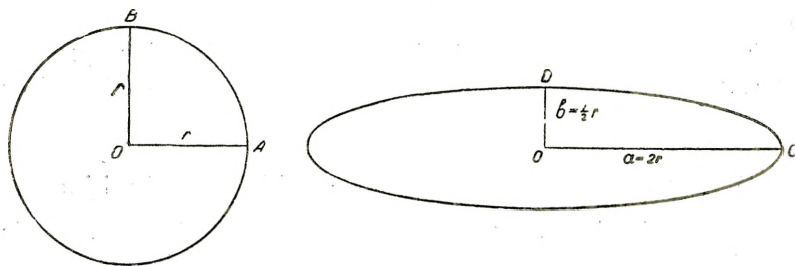
$$\text{Taigi } J_k = L : C = L : 2\sqrt{\pi a_0} \quad (11a)$$

Formulė $J_k = \frac{L}{2\sqrt{\pi a_0}}$ vadinama Nagelio formule, nes ją 1835 metais pasiūlė (šiek tiek kitokiu pavidalu) Nagelis, vidurinės mokyklos mokytojas Ulme, Vokietijoje.

Jei ežeras su salomis, tai, J_p ir J_k skaičiuojant, reikia imti bendrą ežero paviršiaus plotą $a_b = a_0 + \text{salų plotą } a_s$.

Kalbant apie krantinės išsivystymą, paprastai turimas omenyje jos vingiuotumas.

Nagelio formulė vingiuotumui būdinti ne visada tinka. Tinka tik tuo atveju, kai ežero paviršius, aplamai imant, apskritas.



22 pav. Lygiapločiai skritulys ir elipsė

Kai ežero paviršius pailgas, elipsės pavidalo, tai juo ta elipsė labiau ištempta, tuo didesnį duos Nagelio formulė krantinės išsivystymo rodiklį, nors krantinė gali būti ir nevingiuota. Kad taip yra iš tikro, nesunku įsitikinti.

Zinome, kad skritulio plotas $F_s = \pi r^2 = \pi r \cdot r$, o elipsės plotas $F_e = \pi a \cdot b$, kur a — didžioji elipsės pusašė, o b — mažoji (22 pav.). Dėkime į a vietą paeiliui dydžius: $r, 2r, 4r, 8r, \dots$, o į b vietą atitinkamai dėkime dydžius: $r, \frac{1}{2}r, \frac{1}{4}r, \frac{1}{8}r, \dots$. Sudauginę vis gausime πr^2 . Tai reiškia, kad tokių elipsių plotai lygūs turimo skritulio plotui.

Tokio skritulio apskritimas $C=2\pi r$. Toliau aišku, kad

$$C=2\pi r=\pi[1,5(r+r)-\sqrt{r\cdot r}].$$

Pirmąjį r imkime 2, 4, 8, ... kartus didinti, o antrąjį $r=2, 4, 8, \dots$ kartus mažinti, t. y. sudarykime reiškini

$$\pi[1,5(a+b)-\sqrt{ab}],$$

kur a lygus $r, 2r, 4r, 8r, \dots$, o b lygus $r, \frac{1}{2}r, \frac{1}{4}r, \frac{1}{8}r, \dots$

Dėl tokio pakeitimo gauname, kaip esame tik ką matę, lygiaplotės su skrituliu elipsės; tai atrodo, kad ir tų plotų „krantinės“ turėtų būti to paties ilgio. Iš tikrųjų taip nėra, nes atėmėnys $\sqrt{ab}$ po pakeitimo vis duoda r , jisai pastovus, gi turinys $1,5(a+b)$ vis didėja. Tai ir skirtumas didėja, o tai reiškia, kad „krantinė“, elipsei besitempiančiai, ilgėja, nors plotas pasilieka vis toks pat.

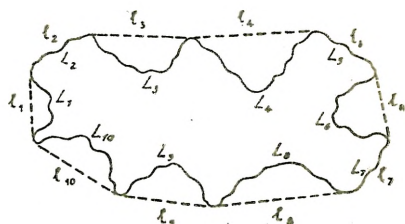
*

Vingiuotumui apibūdinti S. Muraveiskis pasiūlė tokią formulę:

$$k=\frac{l}{l}, \quad (12)$$

kur k — vingiuotumo koeficientas, o l — ilgis laužtinės linijos, gaubiančios ežero kontūrą L .

Koeficientas $k_1=L_1:l_1$ rodo krantinės atkarpos L_1 vingiuotumo dydį (23 pav.), koeficientas $k_2=L_2:l_2$ — atkarpos L_2 vingiuotumo dydį (aišku, kad jis šiuo atveju bus lygus 1, nes krantinė ir gaubiamoji šiame tarpe sutampa), $k_3=L_3:l_3$ rodo krantinės atkarpos L_3 vingiuotumo dydį, ir t. t. Visos krantinės vingiuotumo koeficientas bus:



23 pav. Ežero kontūro atkarpos $L_1, L_2, L_3, \dots$ ir kontūro gaubiamosios atkarpos $l_1, l_2, l_3, \dots$; kai kur jos sutampa

$$k=\frac{L_1+L_2+L_3+\dots+L_n}{l_1+l_2+l_3+\dots+l_n}=\frac{\sum L_1\dots n}{\sum l_1\dots n},$$

arba tiesiai: $k=\frac{\sum L_1\dots n}{\sum l_1\dots n}.$ (12a)

Ši formulė daugeliu atvejų tiksliau apibūdina krantinės vingiuotumą negu Nagelio formulė. Muraveiskio formulės pranašumas yra dar tas, kad iš jos galima nustatyti ne vien visos krantinės, bet ir krantinės atkarpos vingiuotumo laipsnį. Vis dėlto reikia pripažinti, kad daugeliu atvejų (kai ežero kontūras mažai ištemptas) galima išsiversti Nagelio formule, tuo labiau, kad ja galima naudotis, turint tik L ir a_0 ir nereikia brėžti bei matuoti gaubiamosios.

4. III grupė: EŽERO TŪRIO RODIKLIAI

Iš ežero tūrio rodiklių svarbiausi: gyliai, izobatų ilgiai, izobatinių paviršių plotai, dubens tūris.

a) Gyliai

Ežero gylis matuojamas vasarą iš valtės, o žiemą nuo ledo išilgai ir skersai, arba išilginiais ir skersiniais, o kai kada ir radialiniais galsais, kertant aketes tam tikru atstumu nuo viena kitos ir leidžiant grimzti dviejų kilogramų pasvarui, pritvirtintam prie matuojamosios vielos. Negilius ežerus matuoja 5 m ilgio ženklinta gaire. Galsas nuo galso turi būti per 50–100 m. Labai didelius ir gilius ežerus matuoja tokiais pat būdais ir tokiomis pat priemonėmis, kaip ir jūras. Gylį žymėsime raide H arba raide z .

Dar tobulesnis kvadratinis gylių matavimo būdas, kai ežero paviršius suskaidomas tam tikro didumo kvadratais ir ten, kur susieina kvadratų kampai, kertamos aketės. Pasirenkamas bazinis kvadratas, o paskui visi kiti. Juo kvadratai mažesni, tuo tiksliau atvaizduojamas dugno reljefas.

Gylio matavimo tikslumas turi būti bent 0,1 m negiliuose ežeruose ir 0,5 m giliuose, t. y. gilesniuose kaip 5 m. Vienas iš gylių būna didžiausias, arba maksimalinis, kurį žymėsime H_d arba tiesiog H (be indekso d), o kai kada ir simboliu z_m .

Norint surasti vidutinį ežero gylį, reikia įsivaizduoti ežero tūrį prizme ar cilindru, kurių pagrindai lygiapločiai su ežero paviršiumi a_0 . Tokios prizmės ar cilindro aukštinė kaip tik ir bus vidutinis ežero gylis, kurį žymėsime H_v . Jis žymimas

ir raide z su brūkšneliu viršuje. Išreiškę visa tai formulėmis, gautume:

$$V = a_0 \cdot H_v, \text{ arba } H_v = \frac{V}{a_0}. \quad (13)$$

Vidutinį gylį dar būtų galima surasti, visus gylius sudėjus ir sumą padalijus iš jų skaičiaus:

$$H_v = \frac{z_1 + z_2 + z_3 + \dots + z_n}{n} = \frac{\sum z_1 \dots z_n}{n}. \quad (14)$$

Išidėmėsime norminių kūnų vidutinius gylius:

$$\text{cilindro: } H_v = \frac{V}{a_0} = \frac{a_0 H_d}{a_0} = H_d,$$

arba tiesiai $H_v = H_d$, t. y. cilindro vidutinis gylis yra lygus jo didžiausiam gyliui;

$$\text{konuso: } H_v = \frac{V}{a_0} = \frac{\frac{1}{3} a_0 H_d}{a_0} = \frac{1}{3} H_d, \text{ arba tiesiai:}$$

$H_v = \frac{1}{3} H_d$, t. y. konuso vidutinis gylis yra lygus $\frac{1}{3}$ didžiausio gylio;

$$\text{paraboloido: } H_v = \frac{V}{a_0} = \frac{\frac{1}{2} a_0 H_d}{a_0} = \frac{1}{2} H_d, \text{ arba tiesiai:}$$

$H_v = \frac{1}{2} H_d$, t. y. paraboloido vidutinis gylis lygus $\frac{1}{2}$ didžiausio gylio;

$$\text{pusrutulio: } H_v = \frac{V}{a_0} = \frac{\frac{2}{3} a_0 H_d}{a_0} = \frac{2}{3} H_d, \text{ arba tiesiai:}$$

$H_v = \frac{2}{3} H_d$, t. y. pusrutulio vidutinis gylis yra lygus $\frac{2}{3}$ didžiausio gylio.

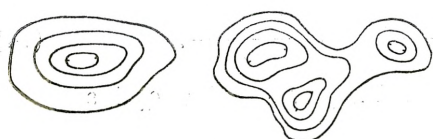
Santykis $H_v : H_d$ ežerotyroje vaidina labai svarbų vaidmenį: iš jo sprendžiama apie dubens talpumą ir formą.

b) Izobatiniai paviršiai; salingumas

Izobatų ir izobatinių paviršių žymėjimas ir matavimas. Plokštumos dalis, izobatos apribota, bus izobatinis paviršius. Izobatinių paviršių plotą žymėsime simboliais $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$. Krantinė L bus ne kas kita, kaip pati didžioji izobata J_0 (nulinė izobata), jei kitas izobatas (jų ilgius) žymėsime $J_1, J_2, J_3, \dots, J_n$. Tokiu būdu ir ežero paviršiaus plotas

žymėtinas simboliu a_0 (nulinis izobatinis paviršius). Simbolis a čia labai tinka, nes primena žodį — akvatorija. Izobatiniai paviršiai yra gylio H , arba z , funkcija. Tokiu atveju jie žymimi a_z arba $f(z)$, o ežero paviršius a_0 arba $f(0)$ (žr. 175 psl.).

Gylius išmatavus, sudaromas batimetrinis ežero planas (24 pav.). Plane izobatų ilgiai matuojami lygiai



24 pav. Batimetriniai planai, vaizduoją paprastą ir sudėtingą dugno reljefą; sudėtingame yra du įdubimai ir vienas iškilimas

taip, kaip krantinės ilgis, o izobatinių paviršių plotai plane — kaip ežero paviršiaus plotas.

Ežero paviršiaus ir izobatinių paviršių plotą paprastai tenka matuoti iš žemėlapių ar plano. Čia patogiausias būdas — p l a

n i m e t r a v i m a s. Gana tikslūs rezultatai, ypačiai nedidelių plotų, gaunami, naudojantis palete (permatomu milimetriniu popierium). Kartais panaudojamos šiam reikalui ir analizinės svarstyklės: išpiaunamas iš tam tikro storio popieriaus ežero paviršius pagal kontūrą ir išpiaunamas to paties popieriaus ploto vienetas. Ir viena, ir kita pasverinama, paviršiaus svoris iš vieneto svorio padalijama, pagaliau, atsižvelgus į plano mastelį, išskaičiuojamas ežero ar izobatinio paviršiaus plotas, išmatuotas km^2 ar ha (mažesnių ežerų).

Reikalą šiek tiek komplikuoja žemės sferiškumas ir salos. Bet žemės sferiškumas reikšmingas tik labai dideliems ežerams, o salos — ir dideliems, ir nedideliems.

Jei ežere esama salų, tai salų plotas a_s skaičiuojamas atskirai ir bendras ežero plotas a_b — taip pat atskirai; paskui salų plotas iš bendro ploto atimamas ir gaunamas a_0 (plotas be salų, gryna akvatorija, ežero veidas):

$$\text{arba} \quad a_b - a_s = a_0, \text{ arba } a_b = a_0 + a_s,$$

$$a_b - a_0 = a_s.$$

Salingumas nustatomas iš formulės:

$$i = \frac{a_s}{a_b} \cdot 100\%. \quad (15)$$

Ši formulė gali turėti ir kitokį pavidalą:

$$i = \frac{a_s}{a_0 + a_s} \cdot 100\%, \quad (15a)$$

arba

$$i = \frac{a_b - a_0}{a_b} \cdot 100\%, \quad (15b)$$

arba

$$i = \frac{a_b - a_0}{a_0 + a_s} \cdot 100\%. \quad (15c)$$

Kai ežeras be salų, tai $a_b = a_0$. Ežerų morfometrinėse charakteristikose nurodomas a_b ir neretai a_0 .

c) Tūrio skaičiavimas

Jei ežero dubuo būtų cilindro, konuso ar pusrutulio pavidalo, tai ežero paviršius a_0 būtų tų kūnų pagrindas, didžiausias gylis H_d būtų tų kūnų aukštinė. O ežero tūris V būtų arba $a_0 H_d$, arba $\frac{1}{3} a_0 H_d$, arba $\frac{2}{3} a_0 H_d$. Jei ežero dubuo būtų paraboloido pavidalo, V būtų lygus $\frac{1}{2} a_0 H_d$.

Tačiau tokių taisyklingų dubenų beveik nėra, o vis jie būna netaisyklingo pavidalo. Netaisyklingų kūnų tūriams skaičiuoti esama labai paprasto principo: reikia tuos netaisyklingus kūnus suskaidyti į tam tikrą skaičių sluoksnių. Juo tie sluoksniai bus plonesni, tuo bus artimesni taisyklingam kūnui, pavyzdžiui, prizmei ar cilindrai. Padauginę sluoksnio pagrindą iš jo storio, gautume sluoksnio tūrį. Visų sluoksnių tūrius sudėję, gautume viso netaisyklingo kūno tūrį. Šį principą galima išreikšti tokia formule:

$$V = \sum_0^{z_m} a_z \Delta z,$$

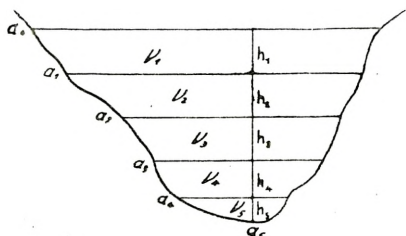
kur a_z — sluoksnio pagrindas (izobatinis paviršius); indeksas z nurodo, kad a yra gylio z funkcija: kiekvieną gylį atitinka tam tikras izobatinis paviršius; Δz — sluoksnio storis, kuris dažnai žymimas raide h ; Σ — sumavimo ženklas; jis su savo indeksais rodo, kad reikia susumuoti visus sluoksnius nuo 0 iki z_m , t. y. nuo ežero paviršiaus iki ežero didžiausio gylio.

Jei sluoksnių storis mažėtų ligi 0, tai formulė įgytų tokį pavidalą:

$$V = \int_0^{z_m} a_z dz.$$

kur a_n — sluoksnio pagrindas, kaip ir pirmiau, dz — ligi 0 mažėjantis sluoksnio storis; visa dešinioji pusė reiškia visų tų plonyčių sluoksnių tūrių sumą, t. y. viso kūno tūrį.

Ežerotyrinėje praktikoje paprastai tokio didelio tikslumo nesiekama, o tenkinamasi netokiais tiksliais, bet paprastesniais būdais, t. y. tokiais būdais, kuriuose figūruoja ne per didelis dėmenų skaičius, vadinasi, kur sluoksniai palyginti stori. Su-



25 pav. Ežero sluoksnių tūriai $V_1, V_2, V_3, \dots$, izobatiniai paviršiai $(a_0, a_1, a_2, \dots)$ ir sluoksnių storiai $(h_1, h_2, h_3, \dots)$

sipažinsime su prizminiu, konusiniu, simpsoniniu ir izobatinio tūrių apytikrio skaičiavimo būdu.

Prizmin's būdas. Šis būdas taip pavadintas dėl to, kad, jį taikant, naudojama ši formulė:

$$V_1 = \frac{a_0 + a_1}{2} \cdot h_1,$$

t. y. pirmojo vandens sluoksnio tūris V_1 suranda-

mas, imant ežero paviršiaus a_0 ir pirmojo izobatinio paviršiaus a_1 vidurkį ir dauginant jį iš sluoksnio storio h_1 (25 pav.). Tokiu būdu pirmasis sluoksnis paverčiamas prizme.

Tokiu pat būdu paverčiamas prizme ir antrasis sluoksnis:

$$V_2 = \frac{a_1 + a_2}{2} \cdot h_2.$$

Ir trečiasis:

$$V_3 = \frac{a_2 + a_3}{2} \cdot h_3.$$

.....
.....

Ir n-asis:

$$V_n = \frac{a_{n-1} + a_n}{2} \cdot h_n.$$

Pagaliau ir $n+1$ -sis:

$$V_{n+1} = \frac{a_n + a_{n+1}}{2} \cdot h_{n+1}.$$

Izobatinis paviršius a_{n+1} paprastai būna labai mažas (jis pačioje ežero gilumoje), neretai taškas, tai galima laikyti a_{n+1} lygiu 0. Dėl to paskutinė formulė įgyja tokį pavidalą:

$$V_{n+1} = \frac{a_n + a_{n+1}}{2} \cdot h_{n+1} = \frac{a_n + 0}{2} \cdot h_{n+1} = \frac{a_n h_{n+1}}{2},$$

arba tiesiai

$$V_{n+1} = \frac{a_n h_{n+1}}{2}.$$

Rezultatus sudėję, gausime visos vandens masės tūrį:

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_{n-1} + V_n + V_{n+1};$$

Arba detaliau:

$$V = \frac{a_0 + a_1}{2} \cdot h_1 + \frac{a_1 + a_2}{2} \cdot h_2 + \frac{a_2 + a_3}{2} \cdot h_3 + \dots \\ \dots + \frac{a_{n-1} + a_n}{2} \cdot h_n + \frac{a_n h_{n+1}}{2}. \quad (16)$$

Kai $h_1, h_2, h_3, \dots, h_n$ yra lygūs, t. y. kai $h_1 = h_2 = h_3 = \dots = h_n = h$, formulė supaprastėja, nes $\frac{h}{2}$ iškeliamo už skliaustų ir atliekami kiti veiksmai. Formulė įgauna tokį pavidalą:

$$V = \frac{h}{2} (a_0 + 2a_1 + 2a_2 + \dots + 2a_{n-1} + a_n) + \frac{a_n h_{n+1}}{2}.$$

Daugmuo 2 iškeliamas už skliaustų:

$$V = h \left(\frac{a_0}{2} + a_1 + a_2 + \dots + a_{n-1} + \frac{a_n}{2} \right) + \frac{a_n h_{n+1}}{2} \quad (16a)$$

Si formulė vadinama Penko formule. Neretai ji vartojama be paskutinio dėmenio $\frac{a_n h_{n+1}}{2}$ ir vadinama Halbfaso formule.

Konusinis būdas. Panašiai, kaip skaičiuojant tūrį prizminiū būdu, elgiamasi ir skaičiuojant konusiniu būdu, tik pirmojo sluoksnio tūriui išskaičiuoti naudojamosi nupiautinio kūgio tūrio formulė:

$$V_1 = \frac{a_0 + a_1 + \sqrt{a_1 a_0}}{3} \cdot h_1.$$

Tokiu pat būdu išskaičiuojamas tūris ir antrojo sluoksnio:

$$V_2 = \frac{a_1 + a_2 + \sqrt{a_1 a_2}}{3} \cdot h_2.$$

.....
.....

Ir n -ojo sluoksnio:

$$V_n = \frac{a_{n-1} + a_n + \sqrt{a_{n-1}a_n}}{3} \cdot h_n.$$

Pagaliau ir $n+1$ -ojo:

$$V_{n+1} = \frac{a_n + a_{n+1} + \sqrt{a_n a_{n+1}}}{3} \cdot h_{n+1}.$$

Ir čia, izobatinį paviršių a_{n+1} prilyginus 0, paskutinė formulė gaus tokį pavidalą:

$$V_{n+1} = \frac{a_n h_{n+1}}{3}.$$

Viso vandens tūrio formulė taip atrodo:

$$V = \frac{a_0 + a_1 + \sqrt{a_0 a_1}}{3} \cdot h_1 + \frac{a_1 + a_2 + \sqrt{a_1 a_2}}{3} \cdot h_2 + \dots + \frac{a_{n-1} + a_n + \sqrt{a_{n-1} a_n}}{3} \cdot h_n + \frac{a_n h_{n+1}}{3}. \quad (17)$$

Kai $h_1 = h_2 = \dots = h_n = h$, formulė supaprastėja, nes $\frac{h}{3}$ iškeliamas už skliaustų ir atliekami kiti veiksmas. Gaunama:

$$V = \frac{h}{3} [(a_0 + 2a_1 + 2a_2 + \dots + 2a_{n-1} + a_n) + (\sqrt{a_0 a_1} + \sqrt{a_1 a_2} + \dots + \sqrt{a_{n-1} a_n})] + \frac{a_n h_{n+1}}{3} \quad (17a)$$

Dėmuisi $\frac{a_n h_{n+1}}{3}$ ir šitoje formulėje neretai praleidžiamas.

Simpsoninis būdas. Jei ežero vandens tūrį suskaidytume į lyginių vienodo storio h sluoksnių skaičių ir imtume tuos sluoksnius po du, tai gautume kūnus, artimus prizmatoidui. Pirmieji du sluoksniai sudarytų prizmatoidą su pagrindais a_0 ir a_2 , o izobatinis paviršius a_1 būtų viduriniu piūviu. Jei palaikytume jį pagrindų vidurkiu, tai gautume:

$$a_1 = \frac{a_0 + a_2}{2}, \text{ arba } a_0 + a_2 = 2a_1.$$

Sio prizmatoido tūris būtų:

$$V_1 = \frac{a_0 + a_2}{2} \cdot 2h = (a_0 + a_2) \cdot h.$$

Jei vieną daugmenį padauginsime iš 3, o kitą iš 3 padalysime, tai sandauga nepakis:

$$V_1 = 3(a_0 + a_2) \cdot \frac{h}{3},$$

arba

$$V_1 = \frac{h}{3} (a_0 + a_2 + a_0 + a_2 + a_0 + a_2).$$

Prisiminę, kad $a_0 + a_2 = 2a_1$, galime parašyti:

$$V_1 = \frac{h}{3} (a_0 + a_2 + 2a_1 + 2a_1) = \frac{h}{3} (a_0 + 4a_1 + a_2),$$

arba tiesiai:

$$V_1 = \frac{h}{3} (a_0 + 4a_1 + a_2).$$

Tokiu pat būdu surastume antrųjų dviejų sluoksnių tūrį:

$$V_2 = \frac{h}{3} (a_2 + 4a_3 + a_4).$$

Trečiųjų dviejų sluoksnių tūris būtų:

$$V_3 = \frac{h}{3} (a_4 + 4a_5 + a_6).$$

.....
.....

Paskutinių dviejų sluoksnių tūris būtų:

$$V_k = \frac{h}{3} (a_{n-2} + 4a_{n-1} + a_n).$$

Sudėję visus tūrius, gautume bendrą tūrį:

$$V = \frac{h}{3} (a_0 + 4a_1 + 2a_2 + 4a_3 + 2a_4 + 4a_5 + 2a_6 + \dots + 2a_{n-2} + 4a_{n-1} + a_n), \quad (18)$$

t. y. gautume Simpsono formulę, kurioje antrojo daugmens dėmenis galėtume įvairiai sugrupuoti, pavyzdžiui:

$$V = \frac{h}{3} [(a_0 + a_n) + 4(a_1 + a_3 + a_5 + \dots + a_{n-1}) + 2(a_2 + a_4 + a_6 + \dots + a_{n-2})] \quad (18a)$$

Indeksą n galėtume pakeisti indeksu $2k$.

Visų trijų būdų tikslumas. Kyla klausimas: kuris iš šių trijų būdų tiksliausias?

Rezultatai per daug nesiskiria ir neturi skirtis, nes visi šie trys būdai giminingi. Simpsono formulę gavome iš prizminio būdo formulės

$$V_1 = \frac{a_0 + a_2}{2} \cdot 2h. \quad (a)$$

Tą pačią Simpsono formulę galima gauti ir iš konusinio būdo formulės.

$$V_1 = \frac{a_0 + a_2 + \sqrt{a_0 a_2}}{3} \cdot 2h, \quad (b)$$

reikia tik sluoksnius vaizduotis taisyklinga keturkampe nukirsta piramide, kurios viršutinis pagrindas a_0 , apatinis — a_2 , vidurinis piūvis — a_1 . Dydis $\sqrt{a_0 a_2}$ bus viršutinio pagrindo kraštinė, $\sqrt{a_1}$ — vidurinio piūvio, $\sqrt{a_2}$ — apatinio pagrindo.

Vidurinio piūvio kraštinė $\sqrt{a_1} = \frac{1}{2}(\sqrt{a_0} + \sqrt{a_2})$. Tokiu būdu

$$a_1 = \frac{1}{4}(a_0 + a_2 + 2\sqrt{a_0 a_2}),$$

arba

$$4a_1 = a_0 + a_2 + 2\sqrt{a_0 a_2},$$

arba

$$\sqrt{a_0 a_2} = \frac{4a_1 - a_0 - a_2}{2}.$$

Gautąjį rezultatą įstatome į formulę (b), kuri tinka ne vien nukirstai ar nupiautai piramidei, bet ir nupiautam konusui:

$$\begin{aligned} V_1 &= \frac{2h}{3} \left(a_0 + a_2 + \frac{4a_1 - a_0 - a_2}{2} \right) \\ &= \frac{2h}{3} \left(\frac{2a_0 + 2a_2 + 4a_1 - a_0 - a_2}{2} \right) \\ &= \frac{h}{3} (a_0 + 4a_1 + a_2), \end{aligned}$$

arba tiesiai:

$$V_1 = \frac{h}{3} (a_0 + 4a_1 + a_2). \quad (c)$$

Taigi Simpsono formulė yra lyg koks saitas tarp prizminio ir konusinio būdo formulių.

Jeigu ežeras būtų kaip šulinys, t. y. prizmė ar cilindras, tai visi šie trys būdai sutaptų, nes visi piūviai būtų lygūs a , o kaip rezultatą visos trys formulės duotų $a \cdot 2h$, arba $2ah$.

Praktikoje didžiausius rezultatus duoda prizminis būdas. Simpsoninis būdas duoda tokius pat rezultatus, kaip konusinis, arba didesnius, arba mažesnius, bet skirtumai ne per didžiausi. Toks šitų dviejų būdų sutarimas verčia manyti, kad jų rezultatai labiau atitinka realybę negu prizminio būdo. Praktika tai patvirtina.

Vis dėlto Lietuvoje dažniausiai buvo naudojamosi prizminiu būdu, viena, dėl to, kad šis būdas labai patogus, o antra, ir tai svarbiausia, dėl to, kad Lietuvos ežerai palyginti nedideli, tai ir dideli netikslumai negali susikaupti.

Izobatinis būdas. Šiuo būdu vandens tūrį skaičiuojant, pasinaudojama izobatų $J_0 (=L)$, J_1 , J_2 , $J_3, \dots$ ilgiais ir nuotoliais h_1 , h_2 , $h_3, \dots$ tarp izobatinių paviršių.

Imkime pirmojo sluoksnio tūrį, išskaičiuotą konusiniu būdu:

$$V_1 = \frac{h_1}{3} (a_0 + \sqrt{a_0 a_1} + a_1)$$

ir patį ežero dubenį vaizduokimės konusu (žr. 36 pav.).

Sakykime, kad ežero paviršiaus spindulys yra r_0 , o izobatinio paviršiaus a_1 spindulys yra lygus r_1 . Dėl to:

$$\begin{aligned} a_0 &= \pi r_0^2; \\ a_1 &= \pi r_1^2; \\ \sqrt{a_0 a_1} &= \sqrt{\pi r_0^2 \pi r_1^2} = \pi r_0 r_1. \end{aligned}$$

Tokiu būdu pirmojo sluoksnio formulė įgyja tokį pavidalą:

$$V_1 = \frac{h_1}{3} (\pi r_0^2 + \pi r_0 r_1 + \pi r_1^2).$$

Jei vieną daugmenį padalysime iš 4π , o kitą padauginsime iš to paties skaičiaus, tai sandauga nepakis ir bus:

$$V_1 = \frac{h_1}{12\pi} (4\pi^2 r_0^2 + 4\pi^2 r_0 r_1 + 4\pi^2 r_1^2).$$

Trinomo narių daugmenis šitaip sugrupuosime:

$$V_1 = \frac{h_1}{12\pi} (2\pi r_0 \cdot 2\pi r_0 + 2\pi r_0 \cdot 2\pi r_1 + 2\pi r_1 \cdot 2\pi r_1).$$

$2\pi r_0$ yra ne kas kita, kaip nulinė izobata J_0 (krantinė L), o $2\pi r_1$ yra ne kas kita, kaip izobata J_1 . Taigi gauname pirmojo sluoksnio tūrį, išreikštą izobatomis, būtent:

$$V_1 = \frac{h_1}{12\pi} (J_0^2 + J_0 J_1 + J_1^2).$$

Lygiai tokiu pat būdu gautume ir antrojo sluoksnio tūrį, ir trečiojo, ir kitų. Tūris V_{n+1} būtų šitaip išreikštas:

$$V_{n+1} = \frac{h_{n+1}}{12\pi} J_n^2.$$

nes izobata J_{n+1} apibrėžia labai mažą plotą, beveik lygų nuliui, tai ir pati ji lygi nuliui.

Viską sudėję gautume visos vandens masės tūrio formulę, kuri taip atrodytų:

$$V = \frac{h_1}{12\pi} (J_0^2 + J_0 J_1 + J_1^2) + \frac{h_2}{12\pi} (J_1^2 + J_1 J_2 + J_2^2) + \dots \\ \dots + \frac{h_n}{12\pi} (J_{n-1}^2 + J_{n-1} J_n + J_n^2) + \frac{h_{n+1}}{12\pi} J_n^2. \quad (19)$$

Kai $h_1 = h_2 = h_3 = \dots = h_n = h$, formulė supaprastėja, nes $\frac{h}{12\pi}$ iškeliamas už skliaustų ir panaudojami kiti supaprastinimo būdai. Gaunama formulė tokio pavidalo:

$$V = \frac{h}{12\pi} [(J_0^2 + 2J_1^2 + 2J_2^2 + \dots + 2J_{n-1}^2 + J_n^2) + \\ + (J_0 J_1 + J_1 J_2 + \dots + J_{n-1} J_n)] + \frac{h_{n+1}}{12\pi} J_n^2. \quad (19a)$$

Taip pat ir čia į dėmenį $\frac{h_{n+1}}{12\pi} J_n^2$ dažnai nekreipiama dėmesio.

Įdubimai ir iškilimai. Su atveju, kada esama tik vieno įdubimo, jau esame susipažinę. Juk, skaičiuodami vandens tūrį prizminių, konusinių ar izobatininių būdu, gaudavome dėmenį:

$$V_{n+1} = \frac{a_n h_{n+1}}{2}, \text{ ar } V_{n+1} = \frac{a_n h_{n+1}}{3}, \text{ ar } V_{n+1} = \frac{h_{n+1}}{12\pi} J_n^2.$$

Šiuos dėmenis prie kitos formulių dalies pridėdavome arba visai nekreipdavome į juos dėmesio.

Šie dėmenys kaip tik yra įdubimo tūris. Taigi reikalas aiškus ir paprastas.

Jei pažymėsime visą tūrį raide V , tūrį ligi įdubimo paviršiaus — $V_0 \dots n$, o įdubimo tūrį — V_{n+1} , tai gausime formulę:

$$V = V_0 \dots n + V_{n+1}, \quad (20)$$

kuri kaip tik ir bus tūrio formulė, kai esama vieno įdubimo.

Iškilimas yra inversinė įdubimo forma. Taigi, jei dugne esama vieno iškilimo, tai tūrio formulė turi būti tokia:

$$V = V_0 \dots n - V_{n+1}, \quad (20a)$$

Čia V_{n+1} reiškia iškilimo tūrį, kaip pirmiau reiškė įdubimo.

Įdubimo gylis h_{n+1} ir iškilimo aukštis h_{n+1} matuojamas nuo izobatinės plokštumos a_n (26 pav.).

Šias dvi formules galima sujungti į vieną:

$$V = V_0 \dots n \pm V_{n+1}. \quad (20b)$$

O jeigu esama drauge iškilimo ir įdubimo, tai į tokią formulę:

$$V = V_0 \dots n + V_d - V_k. \quad (20c)$$

Čia raidė d reiškia įdubimą, o raidė k — iškilimą.

Panagrinėsime atvejį, kai esama keleto įdubimų ir iškilimų. Įdubimų tūrį žymėsime raide V_d , paviršiaus plotą — s_d ir gylį — h_d . Atitinkamai iškilimų tūrį žymėsime V_k , iškilimo pagrindo plotą — s_k ir aukštį — h_k .

Jei įdubimus ir iškilimus laikytume konusais, tai jų tūriai būtų:

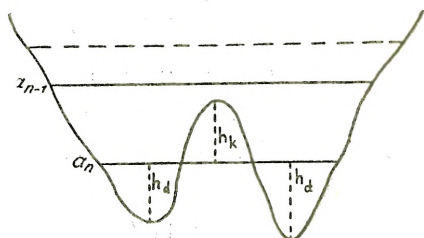
$$V_d = \frac{1}{3} s_d h_d \text{ ir } V_k = \frac{1}{3} s_k h_k.$$

Jei laikytume pusrutuliais ar puselipsoidžiais, tai jų tūriai būtų:

$$V_d = \frac{2}{3} s_d h_d \text{ ir } V_k = \frac{2}{3} s_k h_k.$$

Realiausia bus, jei imsime $\frac{1}{3}$ ir $\frac{2}{3}$ vidurkį ir laikysime įdubimus ir iškilimus paraboloidais; tuo atveju įdubimų ir iškilimų tūriai bus:

$$V_d = \frac{1}{2} s_d h_d \text{ ir } V_k = \frac{1}{2} s_k h_k.$$



26 pav. Ežero dugnas su vienu iškilimu ir dviem įdubimais

Jei dugno reljefe bus keletas įdubimų ar keletas iškilimų, tai jų tūrius turėsime sudėti. Sudėję gausime:

$$\sum V_d = \sum \frac{1}{2} s_d h_d = \frac{1}{2} \sum s_d h_d. \quad (20d)$$

$$\sum V_k = \sum \frac{1}{2} s_k h_k = \frac{1}{2} \sum s_k h_k. \quad (20e)$$

Įdubimų tūrį turėsime prie $V_0 \dots n$ pridėti, o iškilimų — atimti. Gausime formulę:

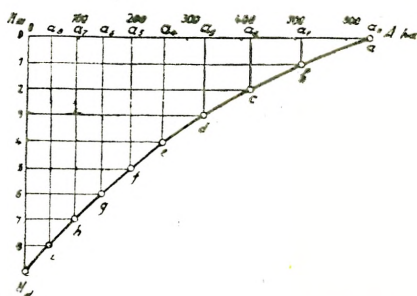
$$V = V_0 \dots n + \frac{1}{2} \sum s_d h_d - \frac{1}{2} \sum s_k h_k. \quad (20f)$$

Ši formulė kaip tik ir bus bendra atvejui, kai dugno reljefe esama keleto įdubimų ir keleto iškilimų. Gyliai h_d ir aukščiai h_k matuojami nuo izobatinės plokštumos a_n .

d) Plotų ir tūrių kreivės

Plotų kreivės — batigrafinė ir hipsografinė. Imkime funkciją $S=f(H)$, kur S — izobatinio paviršiaus plotas, o H — gylis. Lygtis $S=f(H)$ reiškia priklausomybę izobatinio paviršiaus plo- to S nuo gylio H . Susistatykime lentelę:

H	S
z_0	a_0
z_1	a_1
z_2	a_2
z_3	a_3
.....	
.....	
z_n	a_n
z_{n+1}	a_{n+1}



27 pav. Batigrafinės kreivės bendras vaizdas

Čia $z_0, z_1, z_2, z_3, \dots, z_n, z_{n+1}$ — gyliai, matuojami nuo ežero paviršiaus, o $a_0, a_1, a_2, a_3, \dots, a_n, a_{n+1}$ — tuos gylius atitinkančių izobatinių paviršių plotai. Izobatinis paviršius a_{n+1} paprastai būna mažas, tiesiog taškas, lygus 0, o gylis $z_{n+1} = z_m = H_d$ (didžiausiam gyliui).

Jei šią lentelę atvaizduotume brėžiniu, gautume plotų kreivę, šiuo atveju batigrafinę (27 pav.). Abscisių (horizontalinėje) ašyje reikia žymėti izobatinių paviršių plotus, visų pirma patį didįjį izobatinį plotą, t. y. ežero paviršiaus plotą a_0 , o paskui paėiliui kitus izobatinius plotus: $a_1, a_2, a_3, \dots$. Ordinātų (vertikalinėje) ašyje reikia žymėti gylius $z_0, z_1, z_2, z_3, \dots$.

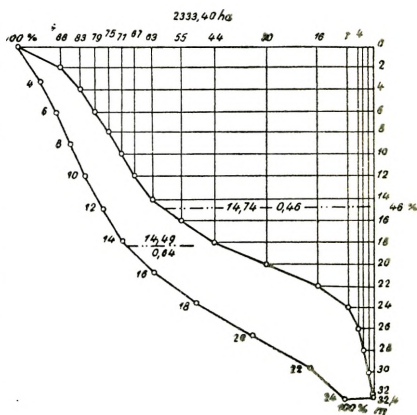
Batigrafinės kreivės sudaromos dviem būdais: A. Penko ir redukcijos į vienodus pagrindus.



28 pav. Batigrafinės kreivės, sudarytos A. Penko būdu, t. y. nepaisant pagrindų (ašių atkarpų) vienodumo

A. Penko būdas. Horizontalinėje ašyje 200 ha skiriama, pavyzdžiui, 3 cm, o vertikalinėje — 4 metrams 0,5 cm. Pats brėžinys taip atrodo (28 pav.). Iš brėžinio matyti, kad pagrindų, t. y. koordinatų ašių atkarpų, vienodumo visai nepaisoma.

Redukcijos į vienodus pagrindus būdas. Abiejose koordinatų ašyse imama po vienodą atkarpą, dažniausiai 1 dm ilgio. 1 dm lygus 100 mm, tai 1 mm sudaro 1 atkarpos procentą. Toliau imamas vienas po kito ežero paviršiaus plotas bei ežero didžiausias gylis ir žiūrima, po kiek ha teks vienam absčių ašies atkarpos procentui ir po kiek metrų ar centimetrų gylio vienam ordinatų ašies atkarpos procentui. Taigi ežero paviršiaus plotas ir didžiausias gylis ir jų procentai visiškai atitinka vienodus pagrindus ir jų procentus; — paviršiaus plotas ir didžiausias gylis į vienodus pagrindus, t. y. į vienodus abiejų



29 pav. Batigrafinė kreivė, redukuota į vienodus pagrindus (į vienodo ilgio ašių atkarpas)

ašių atkarpos, redukuojami. Tokia redukcija pasirėmus, nustatomi ilgiai atkarpų, atitinkančių izobatinius paviršius ir jų gylius. Panagrinėsime konkretų pavyzdį, būtent Dusios ežero batigrafines kreives (29 pav.).

Dusios ežero paviršiaus plotas siekia 2 333,40 ha. Taigi 1% sudaro 23,334 ha. Šis hektarų skaičius tenka vienam absčių ašies atkarpos milimetrui, nes 1 mm sudaro vieną atkarpos procentą. Didžiausias Dusios ežero gylis 32,4 m. Vieną procentą sudaro 0,324 m = 32,4 cm. Šį dydį atitinka 1 mm ordinatų ašies atkarpoje. Bet paprastai stengiamasi imti kiek galint storesnius sluoksnius. Mūsų pavyzdyje paimti sluoksniai dviejų metrų storio. Taigi ordinatų ašies atkarpoje reikia surasti taškus, ties kuriais būtų galima parašyti 2, 4, 6, ... (metrai). Čia padeda paprasta proporcija:

$$\frac{32,4 \text{ cm} - 1 \text{ mm}}{200 \text{ „} - x \text{ „}} \\ x : 1 = 200 : 32,4$$

$$x = \frac{200}{32,4} \approx 6,1 \text{ (mm)}$$

Taigi 2 m atitinka ordinatų ašies atkarpoje šiek tiek daugiau kaip 6 mm. Tolesnis kreivės brėžinio sudarymas ar kreivės taškų suradimas nereikalauja jokio aiškinimo.

Brėžinyje tarp 14-to ir 15-to metro pažymėtas vidutinis gylis,—Dusios ežero H_v . Jis siekia 14,74 m ir sudaro 46 didžiausio gylio procentus. Skaičius 0,46 reiškia santykį $H_v : H_d$,—vidutinio gylio su didžiausiu. Redukuotinėje kreivėje vidutinį gylį pažymėti visada būna patogiau, nepaisant, ar ežeras didelis ar mažas, gilus ar negilus.

Aukščiau matėme, kad į įdubimus dažnai nekreipiama dėmesio. Dusios ežere kaip tik esama tokio įdubimo. To įdubimo paviršius yra 24 m gylyje. Antroji kreivė kaip tik yra be to įdubimo, t. y. ežero, kurio didžiausias gylis ne 32,4 m, o tik 24. Tokiu pat būdu galima sudaryti dabartinio ir pirminio dubens batigrafines kreives ir jas tarpusavyje palyginti.

Panašią plotų kreivę galima sudaryti ir kalnui. Bet tada ji bus vadinama ne batigrafine, bet hipsografine, o paviršiai, izohipsų apriboti, izohipsiniais paviršiais.

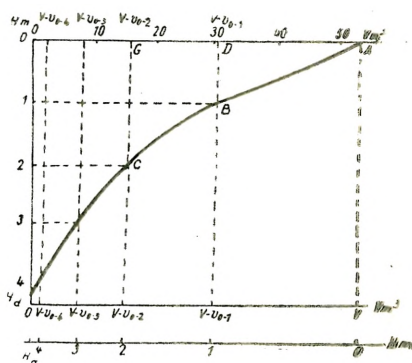
Išidėmėtina, kad gali priklausyti ne tik izobatiniai paviršiai nuo gylio, bet ir gylis nuo izobatinių paviršių. Taip pat izohipsiniai paviršiai priklauso nuo aukščio, o aukštis nuo izohipsinių paviršių.

Planimetruojant plotą tarp batigrafinės kreivės ir koordinatų ašių, galima rasti ežero ir atskirų jo sluoksnių tūrį. Plotas $ab10$ (žr. 27 pav.) reiškia pirmojo sluoksnio tūrį; plotas $bc21$ reiškia antrojo sluoksnio tūrį; ir t. t. Visas plotas aH_0 reiškia viso ežero tūrį. Tai dar vienas būdas ežero tūriui surasti — grafinis. Jis patogus ir gana tikslus.

Tūrių kreivė ir tūrių skalė. Panašiu būdu, kaip plotų (batigrafinė ir hipsografinė) kreivė, sudaroma ir tūrių kreivė.

Imama funkcija $V=\varphi(H)$, kur V — tūris ir H — gylis. Sustatoma lentelė:

H	V
z_0	V
z_1	$V - V_0 \dots 1$
z_2	$V - V_0 \dots 2$
z_3	$V - V_0 \dots 3$
.....	
.....	
z_n	$V - V_0 \dots n$
z_{n+1}	$V - V_0 \dots (n+1)$



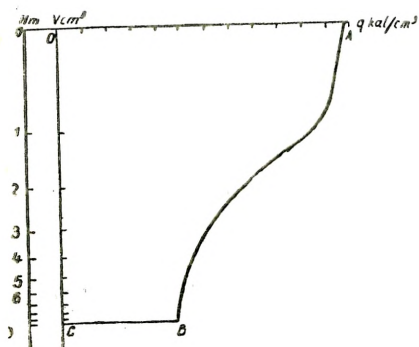
30 pav. Tūrių kreivė ir tūrių skalė

Cia V — ežero tūris, $V_0 \dots 1$ — tūris sluoksnio, esančio tarp ežero paviršiaus a_0 ir pirmojo izobatinio paviršiaus a_1 , taigi $V - V_0 \dots 1$ reiškia vandens tūrį, esantį po pirmuoju izobatiniu paviršiumi a_1 , $V - V_0 \dots 2$ — po a_2 , $V - V_0 \dots 3$ — po a_3 ir t. t. Aišku, kad $V_0 \dots (n+1) \approx V$, nes $V_0 \dots (n+1)$ reiškia vandens tūrį tarp ežero paviršiaus ir paskutinio izobatinio paviršiaus a_{n+1} . Atvaizdavę lentelę brėžiniu, gauname tūrių kreivę (30 pav.).

Brėžinyje abscisa $0A$ atvaizduoja viso ežero tūrį V , abscisa $1B$ — ežero tūrį, esantį po pirmuoju izobatiniu paviršiumi a_1 , t. y. $V - V_0 \dots 1$, abscisa $2C$ — po antruoju izobatiniu paviršiumi a_2 , t. y. $V - V_0 \dots 2$, ir t. t. Vertikalinėje ašyje sužymėti gyliai.

Po tūrių kreivės brėžiniu yra tūrių skalė, t. y. tiesės atkarpa, į kurią projektuoti tūriai: viso ežero, po pirmuoju izobatinio paviršiumi a_1 , po antruoju a_2 ir t. t. Šalia skaičiais nurodyti atitinkami gyliai.

Tūrių skalė pritaikoma, pvz., skaičiuojant ežero šilumos atsargas (31 pav.). Gyliai H vertikalinėje ašyje reiškiami tūrių



31 pav. Grafinio šilumos atsargų ežere skaičiavimo schema

skale. Tokiu atveju 1 metrą atitinka ne vienodos ordinatų ašies atkarpos, bet skirtingos, atitinkančios tam tikrus tūrius (žr. 30 pav.). Abscisų ašyje žymimi kalorijų kiekiai, konstatuoti įvairiuose gyliuose 1 cm³ vandens. Plotas tarp kreivės ABC ir koordinatų ašių OA ir OC kaip tik vaizduoja ežero šilumos atsargas.

Panašiu būdu galima atvaizduoti, pavyzdžiui, deguonies kiekį ežere.

Abi kreivės, plotų (batigrafinė) ir tūrių labai reikšmingos, stebint paviršiaus lygio svyravimus. Lygiui svyruojant, kinta ir ežero paviršiaus plotas, ir vandens tūris. Lygiui pakilus ar nuslūgus, iš kreivių betarpiškai galima surasti atitinkamą plotą ar tūrį. Ypačiai tai aišku iš brėžinio, sudaryto redukcijos į vienodus pagrindus būdu.

Abi kreivės plačiai panaudojamos ir energetikoje, kur jos vadinamos tvenkinio charakteristikomis.

*

Morfologijos skyriuje sužinojome, kad, esant vandens masei tankio atžvilgiu homogeninei, naudojamosi iš mechanikos paimta formule (2):

$$S_0 = \frac{\int_0^{z_m} z dV}{V},$$

kai norima surasti nuotolį S_0 nuo ežero paviršiaus iki vandens masės svorio centro. Turint omenyje ne tik visą ežerą, bet ir

atskirus sluoksnius reiktų skaitiklyje vietoje apatinės ribos, lygios 0, imti ribą, lygią gyliui z_k .

Tūrį V galima surasti iš batigrafinės kreivės, išskaičiavus tūrį sluoksnio tarp a_0 ir a_1 , t. y. tarp ežero paviršiaus ir pirmojo izobatinio paviršiaus, paskui tūrį sluoksnio tarp a_1 ir a_2 ir t. t., ir rezultatus sudėjus.

Integralo $\int_{z_k}^{z_m} z dV$ reikšmę galima surasti, planimetruojant plotą tarp tūrių kreivės ir koordinatų ašių. Plotas ABD (žr. 30 pav.) duos pirmojo sluoksnio integralo reikšmę. Jos dimensija bus m^4 , nes atkarpa BD tam tikru masteliu reiškia gylį, išmatuotą metrais, o atkarpa AD reiškia tūrio prieauglį, išmatuotą kubiniais metrais. Sudauginę m ir m^3 , gauname m^4 .

Plotas ACG duos pirmųjų dviejų sluoksnių integralo reikšmę ir t. t. Visas plotas tarp tūrių kreivės ir koordinatų ašių duos viso ežero integralo reikšmę, t. y. integralą $\int_{z_0}^{z_m} z dV$, arba $\int_0^{z_m} z dV$.

e) Tūrio išsivystymas ir reliatyvusis talpumas

Jei į sauso smėlio, grūdų, kruopų ir kitų birių medžiagų sluoksnį įspausime pagrindu cilindą, tai, jį išėmus, duobės kraštai užbirs ir pasidarys įdubimas piltuvėlio, t. y. kūgio, pavidalo. Kūgio pagrindas daug didesnis negu įspausito cilindro. Iš to kilo įsitikinimas, kad ir ežero dubuo iš lėto virsta į kūgį. Dėl to ir sumanyta ežero dubens tūrį lyginti su tūriu konuso, kurio pagrindo plotas S lygus ežero paviršiaus plotui a_0 ir aukštinė H_k lygi didžiausiam ežero gyliui H_d , t. y. $H_k = H_d$. Toksai konusas vadinamas pagrindiniu ežero konusu. Žodžiu, tūrio išsivystymą J_t įmanoma surasti iš formulės:

$$J_t = V : \frac{a_0 \cdot H_k}{3} = V : \frac{a_0 \cdot H_d}{3} = \frac{3V}{a_0 H_d} = \frac{V}{a_0} \cdot \frac{3}{H_d}.$$

Kaip jau žinome, $\frac{V}{a_0} = H_v$, t. y. vidutiniam gyliui. Taigi gauname:

$$J_t = \frac{V}{a_0} \cdot \frac{3}{H_d} = H_v \cdot \frac{3}{H_d} = 3 \frac{H_v}{H_d},$$

arba tiesiai:

$$J_t = 3 \cdot \frac{H_v}{H_d} \quad (21)$$

Vadinasi, norint sužinoti, koks tūrio išsivystymas, reikia pa-
imti trigubą santykį vidutinio gylio su didžiausiu gyliu. Šį san-
tykį galima išreikšti H_d procentais:

$$J_t = 3 \cdot \frac{H_v}{H_d} \cdot 100\% \quad (21a).$$

Konuso $H_v = \frac{1}{3} H_d$ (jo didžiausio gylio, t. y. aukštinės). Tai-
gi, jeigu ežero dubuo būtų konusas, tai iš formulės gautume:

$$J_t = 3 \frac{H_v}{H_d} \cdot 100\% = 3 \frac{\frac{1}{3} H_d}{H_d} \cdot 100\% = 100\%.$$

Tokio ežero dubens ir vandens masės tūris laikomas vi-
siškai išsivysčiusiu. Kai gaunama mažiau ar daugiau negu
100%, ežero tūris laikomas nuo pagrindinio konuso tūrio ma-
žiau ar daugiau nutolusiu, taigi neišsivysčiusiu.

Tūrio išsivystymo rodiklis kai kurių limnologų laikomas ne-
realiu, nes tikrovėje ežero dubuo beveik niekuomet konuso pa-
vidalo neįgyja, nors to ir siekia.

Tiesa, ežerų krantai yra sudaryti ne iš birių medžiagų. Bet
kai juose dėl abraziijos ar kitų priežasčių atsiranda birių me-
džiagų, tai jas veikia ta pati gravitacijos jėga ir tvarko tie
patys dėsniai, kaip ir sausą smėlį, grūdus ar kruopas. Su šituo
faktu, t. y. su ežero dubens tendencija virsti konusu skaitytis
reikia. Tik tokiu atveju geriau tikėtų kalbėti apie dubens for-
mos išsivystymą, o ne jo tūrio. Dubenis, kurių forma priartėjus
prie konuso, reiktų laikyti išsivysčiusiais pagal normą. Ma-
žiausiais išsivysčiusiais tektų laikyti dubenis cilindro pavidalo,
o dubenis paraboloido, pusrutulio ar puselipsoidžio formos
vidutiniškai išsivysčiusiais.

Jeigu imsime vienodų paviršių ir vienodų gylių dubenis, bet
įvairių pavidalų, tai cilindro pavidalo dubuo bus talpiausias.
Dėl to norėdami surasti dubens reliatyvųjį talpumą, ly-
gina ežero tūrį V su tūriu cilindro, kurio pagrindo
plotas lygus ežero paviršiaus plotui a_0 , o aukštinė lygi didžiau-

siam ežero gyliui H_d , t. y. reliatyvųjį talpumą T_r suranda iš formulės:

$$T_r = V : V_c = \frac{V}{a_v H_d} = \frac{\frac{V}{a_v}}{H_d} = \frac{H_v}{H_d},$$

arba tiesiai

$$T_r = \frac{H_v}{H_d}. \quad (22)$$

Paprastai T_r išreiškiamas H_d procentais:

$$T_r = \frac{H_v}{H_d} \cdot 100 \%. \quad (22a)$$

Jei dubuo būtų toks talpus, kaip cilindras, tai gautume:

$$T_r = \frac{H_v}{H_d} \cdot 100 \% = \frac{H_d}{H_d} \cdot 100 \% = 100 \%.$$

Toliau susipažinsime su T_r ir santykių $k = H_v : H_d$ ir $c = H_v : S_0$ pritaikymu.

5. IV grupė: RODIKLIAI, BUDINANTIEJI EŽERO DUBENS FORMA

a) Santykiai $k = H_v : H_d$ ir $c = H_v : S_0$
(formos koeficientai)

Ežerų dubenys susidarė dėl įvairių veiksnių, įvairiose vietose, įvairiu laiku ir nevienodu būdu, todėl nenuostabu, kad jie formos atžvilgiu labai įvairūs ir netaisyklingi. Betgi kad ir kaip jie įvairūs ir netaisyklingi, vis dėlto duodasi grupuojami pagal panašumą ir duodasi lyginami su norminiais kūnais: cilindru, konusu, paraboloidu, pusrutuliu ar puselipsoidžiu. Mat, procesai, kurie ežerų dubenis formavo, galėjo skirtis iš esmės, turiniu, bet galėjo jie skirtis tik trukme, ritmu, intensyvumu. Pirmuoju atveju susidarė skirtingos formos, nepanašios viena į kitą, o antruoju atveju ežerų dubenų formos įgavo bendrų geometrinų savybių. Tas savybes nurodo norminių kūnų H_v ir H_d santykiai, surašyti 3 lentelėje.

Šia lentele remiantis, galima manyti, kad jei $H_v : H_d$ lygus ar artimas 0,33... , arba jei jo T_r (reliatyvusis talpumas) lygus ar artimas 33%, tai ežero dubens forma turi būti kaip nors susijusi su konuso forma. Tą patį galima pakartoti ir apie paraboloidą, pusrutulį ar puselipsoidį.

Kūnas	$k = H_v : H_d = T_r$	$T_r \%$
Cilindras	$H_d : H_d = 1,00$	100
Konusas	$\frac{1}{3} H_d : H_d = 0,33$	33
Paraboloidas	$\frac{1}{2} H_d : H_d = 0,50$	50
Pusrutulis	$\frac{2}{3} H_d : H_d = 0,66$	66
Puselipsoidis		

Muraveiskis, siekdamas didesnio tikslumo ir realumo, pasiūlė spręsti apie ežero dubens formos sąsąjį su norminių kūnų formomis iš santykio $c = H_v : S_0$, t. y. iš santykio vidutinio gylio su nuotoliu nuo ežero paviršiaus ligi homogeninės vandens masės svorio centro. Tokie norminių kūnų santykiai surašyti 4 lentelėje.

4 l e n t e l ė

Kūnas	H_v (kai $H_d = 1$)	S_0	$c = H_v : S_0$
Cilindras	1,00	$\frac{1}{2} = 0,50$	2,00
Konusas	$\frac{1}{3} = 0,33$	$\frac{1}{4} = 0,25$	$\frac{4}{3} = 1,33$
Paraboloidas	$\frac{1}{2} = 0,50$	$\frac{1}{3} = 0,33$	$\frac{3}{2} = 1,50$
Pusrutulis	$\frac{2}{3} = 0,66$	$\frac{3}{8} = 0,375$	$\frac{16}{9} = 1,78$
Puselipsoidis			

Kaip S_0 surandamas, jau žinome, būtent iš batigrafinės ir tūrių kreivių.

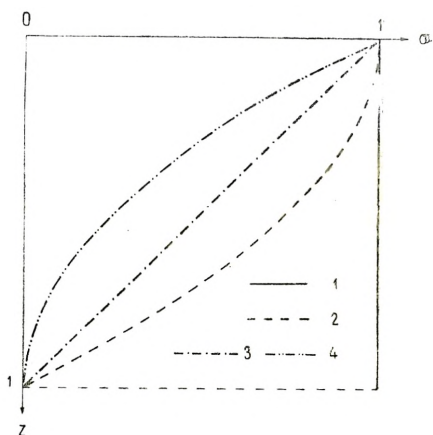
Iš santykio $H_v : S_0$ taip pat galima spręsti apie ežero dubens formos sąsąjį su to ar kito norminio kūno forma. Pavyzdžiui, jei ežero toks santykis lygus ar artimas 1,50, tai jo dubens forma susijusi su paraboloido forma.

b) Ežerų dubenų formos ir batigrafinės kreivės

Formos koeficientai, t. y. santykiai $k = H_v : H_d$ ir $c = H_v : S_0$, ežerų dubenų formų sąsąjį su norminių kūnų formomis vaizduoja gana abstrakčiai. Konkretiškai tą sąsąjį pa-

vaizduoja batigrafinės kreivės. Jos, norminių kūnų, parodytos 32 pav.

Jei ežero batigrafinė kreivė tokia pat ar bent panaši į bet kurią iš parodytų kreivių, tai reiškia, kad to ežero dubens forma yra susijusi su to ar kito kūno forma. Todėl reikia šias kreives įsidėmėti. Cilindro ir paraboloido kreivės tiesios, tik cilindro stačia, o paraboloido pasvirusi. Konuso ir puselipsoidžio kreivės — tikros kreivės: konuso įgaubta, puselipsoidžio išgaubta. Konuso batigrafinė kreivė yra parabolė, kurios ašis lygiagretė abscisų ašiai (lygtis: $x=1-2y+y^2$), o puselipsoidžio batigrafinė kreivė — taip pat parabolė, bet jos ašis sutampa su abscisų ašimi (lygtis: $x=1-y^2$). Paraboloido batigrafinės kreivės lygtis: $x=1-y$, o cilindro: $x=1$. Simbolis x šiose formulėse reiškia izobatinų paviršių plotus (a_z), o y — gylius (z). Formules pasirašysime tokiu pavidalu: konusui $a_z^k=1-2z+z^2$, puselipsoidžiui $a_z^e=1-z^2$, paraboloidui $a_z^p=1-z$ ir cilindrai $a_z^c=1$.



32 pav. Batigrafinės kreivės (bendrai):
1 — cilindro; 2 — puselipsoidžio; 3 —
paraboloido ir 4 — konuso

c) Batigrafinės kreivės ir tūrių skaiciavimas

Analiziškai tyrinėjant ežerų dubenų formas, jų batigrafines kreives ir tūrių funkcijas, prieita prie įdomių ir svarbių išvadų, su kuriomis susipažinsime. Įsidėmėkime simbolių reikšmes: a_z reiškia izobatinį paviršių, o V_z — tūrį po izobatinio paviršiumi iki H_d .

Visų pirma prieita, kad batigrafinės kreivės, redukuotos į vienodus pagrindus, žymiai tiksliau nusako, kurio taisyklingo kūno tūriui, kaip funkcijai, yra artimesnis nagrinėjamo ežero tūris, kaip funkcija, nusako tiksliau negu formos koeficientai

$$k = \frac{H_v}{H_d} \quad \text{ir} \quad c = \frac{H_v}{S_0}.$$

Muraveiskio pasiūlytas formos koeficientas tobulesnis, nes sudarytas iš vidurkinių dydžių, t. y. daug objektyvesnių negu H_d , kuris gali būti labai netikslus. Pavyzdžiui, daug metų buvo tikėta, kad Baikalo ežero didžiausias gylis 1741 m, o patikrinus pasirodė, kad tik 1620 m. Vis dėlto ir iš c apie ežero dubens formą spręsti sunku. Be to, ir ne visada galima, būtent kai koeficientų (k ir c) reikšmė lygi jų reikšmių vidurkiui: $\frac{1}{2} \left(1 + \frac{2}{3} \right)$, $\frac{1}{2} \left(\frac{2}{3} + \frac{1}{2} \right)$, $\frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{3} \right)$ arba: $\frac{1}{2} \left(2 + \frac{4}{3} \right)$ ir t. t. Užtat teigiant, kad ežero dubuo yra panašus į kurį nors tašykingą kūną, reikia suprasti ne formų, bet tūrio, kaip funkcijos, atžvilgiu, nes plotas tarp batigrafinės kreivės ir koordinatų ašių reiškia ežero dubens ar jame susitelkusios vandens masės tūrį. Analizinė tūrio išraiška, kaip jau žinome, tokia:

$$V = \int_0^{z_m} a_z dz,$$

arba

$$V_z = \int_z^{z_m} a_z dz$$

tūriui nuo bet kurio gylio iki didžiausio gylio.

Sakykime, kad ežero plotas ir didžiausias gylis z_m yra lygus 1. Tokiu atveju gautume:

$$V = \int_0^1 a_z dz$$

viso ežero tūriui ir

$$V_z = \int_z^1 a_z dz$$

tūriui nuo bet kurio gylio iki didžiausio gylio.

Konkrečiai: C i l i n d r o tūriui

$$V_z^c = \int_z^1 dz,$$

arba

$$V_z^c = 1 - z, \tag{a}$$

nes cilindro batigrafinės kreivės lygtis $a_z^c = 1$.

Konuso tūriui

$$V_z^k = \int_z^1 (1-2z+z^2) dz,$$

arba

$$V_z^k = \frac{1}{3} (1-3z+3z^2-z^3), \quad (b)$$

nes konuso batigrafinės kreivės lygtis $a_z^k = 1-2z+z^2$.

Paraboloido tūriui

$$V_z^p = \int_z^1 (1-z) dz,$$

arba

$$V_z^p = \frac{1}{2} (1-2z+z^2), \quad (c)$$

nes paraboloido batigrafinės kreivės lygtis $a_z^p = 1-z$.

Pagaliau puselipsoidžio tūriui

$$V_z^e = \int_z^1 (1-z^2) dz,$$

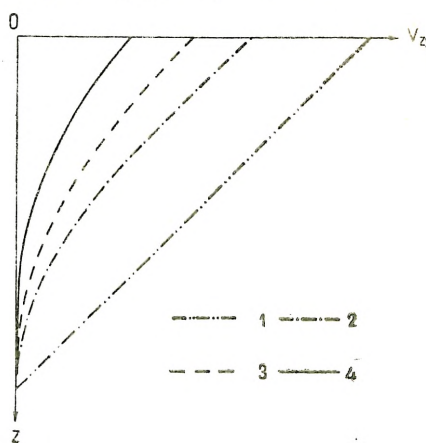
arba

$$V_z^e = \frac{1}{3} (2-3z+z^3), \quad (d)$$

nes puselipsoidžio batigrafinės kreivės lygtis $a_z^e = 1-z^2$.

Tai į šiuos norminių kūnų tūrius, kaip gylio z funkcijas, būna panašūs ežerų tūriai, kaip gylio funkcijos.

Lygtis (a), (b), (c) ir (d) atvaizdavę grafiškai, gautume tūrių kreives (33 pav.). Puselipsoidžio ir konuso tūrių kreivės yra trečiojo laipsnio parabolės [lygtys (b) ir (d)], paraboloido tūrių kreivė — antrojo laipsnio parabolė [lygtis (c)], pagaliau cilindro tūrių kreivė — lygiaašė tiesė [lyg-



33 pav. Tūrių kreivės:

1 — cilindro; 2 — paraboloido; 3 — puselipsoidžio; 4 — konuso

tis (a)]. Galima norminių kūnų tūrių kreives redukuoti į vienus pagrindus.

Pastebėtinas dar toks faktas. Kai $z=0$, gaunami norminių kūnų formos koeficientai ($k=H_v : H_d$) : 1 (cilindro), $\frac{1}{3}$ (konuso), $\frac{1}{2}$ (paraboloido) ir $\frac{2}{3}$ (puselipsoidžio).

Mums norminių kūnų (T) batigrafinių kreivių formulėmis (a_z^T) ir tūrių kreivių formulėmis (V_z^T) teks naudotis ir tolesnėje veikalo dalyje. Todėl jas susirašysime į lentelę.

5 lentelė

Norminių kūnų (T) batigrafinių ir tūrių kreivių lygtys (a_z^T ir V_z^T)

Kūnas T	a_z^T	V_z^T
Cilindras	1	$1-z$
Puselipsoidis	$1-z^2$	$\frac{1}{3}(2-3z+z^3)$
Paraboloidas	$1-z$	$\frac{1}{2}(1-2z+z^2)$
Konusas	$1-2z+z^2$	$\frac{1}{3}(1-3z+3z^2-z^3)$

Taisyklingų kūnų batigrafinėms kreivėms lygtys galimos. Ežerų batigrafinėms kreivėms lygtys negalimos, nes ežerų dubenys netaisyklingi. Taigi ežerų dubenų batigrafinės kreivės visuomet būna netikslios ir visuomet būna apytikriai pagal jas išskaičiuoti ežerų tūriai, kaip ir skaičiuojant prizminiu, konusiniu ar simpsoniniu būdu.

*

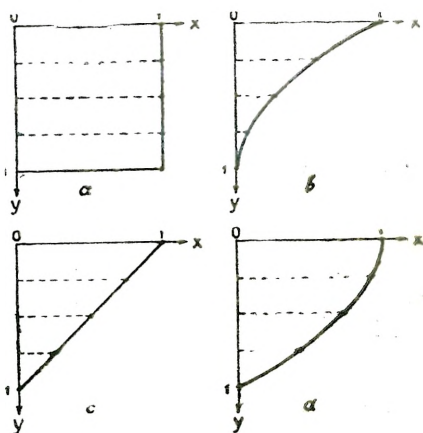
Paaikškęs ežerų dubenų sąsijai su norminiais kūnais, pasistengsime tiksliau atsakyti į klausimą: kuris apytikris tūrio skaičiavimo būdas taikytinas konkrečiu atveju?

Nesunku numanyti, kad konusinis metodas geriau tiks tada, kai ežero batigrafinė kreivė bus panaši į konuso batigrafinę kreivę. Liekasi dar du būdai: prizminis ir simpsoninis.

Imkime paraboloido batigrafinę kreivę (34 pav.). Plotas tarp kreivės ir koordinatų ašių reiškia paraboloido tūrį, suskaidytą izobatinėmis plokštumomis. Žiūrint į brėžinį, nesunku suvokti, kad čia patogiau ir tiksliau pavaruoti prizminį būdą, nes brėžinys suskaidytas paprastomis trapecijomis.

Imkime vėl puselipsoidžio batigrafinę kreivę. Matome, kad turime reikalo su parabolinėmis trapecijomis. Tai šiuo atveju geriausia tikrų simpsoninis būdas.

Ir konuso batigrafinės kreivės atveju turime reikalo su parabolinėmis trapecijomis. Tai šiuo atveju tinka tiek konusinis, tiek simpsoninis skaičiavimo būdas.



34 pav. Batigrafinės kreivės (atskirai):
a — cilindro; b — konuso; c — paraboloido;
d — puselipsoidžio

tiek simpsoninis skaičiavimo

*

Praktika parodė, kad ledynmetinių ežerų batigrafinės kreivės būna dvejopo pobūdžio. Vienos yra labai artimos norminių kūnų batigrafinėms kreivėms (grupė a), o kitos paprastai būna dvilypės (grupė b): viena dalis panaši, pavyzdžiui, į paraboloido (T_1) batigrafinę kreivę, o kita — į konuso ar puselipsoidžio (T_2). Tokio batigrafinių kreivių dvilypumo atvejais reikia kiekvienai jų daliai taikyti atitinkamas tūrio skaičiavimo formules.

Grupės a atveju analizinė tūrio išraiška bus tokia ($z_m=1$):

$$V_z^T = \int_z^1 a_z^T dz.$$

O grupės b atveju bus tokia:

$$V_z^T = \int_z^{z_1} a_z^T dz + \int_{z_1}^1 a_z^T dz, \text{ kai } z \leq z_1; = \int_z^1 a_z^T dz, \text{ kai } z > z_1.$$

Abiem atvejais z_1 — gylis iki izobatos, nuo kurios kreivė įgyja kitą pobūdį.

Įsivaizduokime, kad turime keletą vienodo paviršiaus a_0 ir vienodo didžiausio gylio H_d ežerų, bet pirmojo batigrafinė kreivė panaši į cilindro batigrafinę kreivę, antrojo — į pusrutulio ar puselipsoidžio, trečiojo — į paraboloido, pagaliau ketvirtojo — į konuso. Tai reiškia, kad nors didžiausi gyliai ir vienodi, bet jų vidutiniai gyliai nevienodi (žr. 3 ir 4 lent.) ir kad pirmojo ežero vandenis būtų galima supilti į cilindrą $a_0 H_d$, antrojo — į pusrutulį $0,66 a_0 H_d$, trečiojo — į paraboloidą $0,50 a_0 H_d$, ketvirtojo — į konusą $0,33 a_0 H_d$.

Sakykime, kad turimi keli vienodo ploto ir vienodo didžiausio gylio ežerų dubenys, bet įvairios formos: cilindro, pusrutulio, paraboloido, konuso. Vanduo, tuose dubenyse susitelkęs, gali būti vienodų savybių, arba homogeninis, ir įvairių savybių, arba nehomogeninis. Tų savybių, arba charakteristikų, svarbiausios: temperatūra, tankis, mineralingumas.

Imkime pirmąjį atvejį — kai vandens masė homogeninė. Aišku, kad lengviausia tą masę išjudinti konuse, o sunkiausia cilindre. Jeigu energiją, reikalingą vandens masei išjudinti cilindre, palaikysime 1, tai pusrutuliui teks 0,66, paraboloidui 0,50, o konusui 0,33, arba procentais: 100, 66, 50, 33.

Imkime antrąjį atvejį ir sakykime, kad reikia suvienodinti vandens masės charakteristikų reikšmes, pavyzdžiui tankio. Tam reikia masės išmaišyti, t. y. atlikti tam tikrą darbą. To darbo kiekio nustatymas ir dubens formos reikšmės išaiškinimas reikalauja specialaus nagrinėjimo.

Šios kelios mintys nurodo, kam ežerų batigrafinės kreivės reikalingos ir kam reikalingas tų kreivių lyginimas su norminių kūnų batigrafinėmis kreivėmis. Visa tai reikalinga ežero vandens masei tyrinėti. Šios kelios mintys mums bus toliau labai naudingos.

6. V grupė: RODIKLIAI, BUDINANTIEJI

EŽERO DUGNO RELJEFĄ

a) Dugno įgaubimas ir išgaubimas.

35 brėžinyje pavaizduoti trys konusai: vieno šoninis paviršius normalus, o kitų dviejų — deformuotas, — įgaubtas ir išgaubtas.

Konuso vidutinis gylis $H_v = \frac{V}{a_0} = \frac{\frac{1}{3} a_0 H_d}{a_0} = \frac{1}{3} H_d$. Tokiu būdu

konuso vidutinio gylio santykis su didžiausiu gyliu yra $\frac{H_v}{H_d} = \frac{1}{3}$, arba $3H_v = H_d$.

Taigi $3H_v - H_d = 0$, o taip pat

$$\frac{3H_v - H_d}{H_d} = 0, \text{ arba } 3 \cdot \frac{H_v}{H_d} - 1 = 0.$$

Iš paskutinių dviejų formulių galima pažinti, ar konuso šoninis paviršius normalus ar deformuotas,—įgaubtas ar išgaubtas. Jei skaičius į formulę įstačius gaunamas 0, tai konuso šoninis paviršius normalus, o jei gaunamas teigiamas ar neigiamas skaičius, tai deformuotas: jei teigiamas, tai šoninis paviršius išgaubtas, jei neigiamas tai įgaubtas.



35 pav. Nedeformuotas konusas (a), įgaubtas (b) ir išgaubtas (c)

Kitaip sakant, jei $3 \cdot \frac{H_v}{H_d}$ (konuso tūrio išsivystymas) lygus 1, tai turima reikalo su normaliu konusu, o jei $3 \cdot \frac{H_v}{H_d}$ lygus tikrajai trupmenai, tai su įgaubtu, o jei netikrajai — su išgaubtu.

Įgaubimo ir išgaubimo rodiklį pažymėsime raide G . Iš to, kas sakytą, aišku, kad jį galima surasti iš formulės:

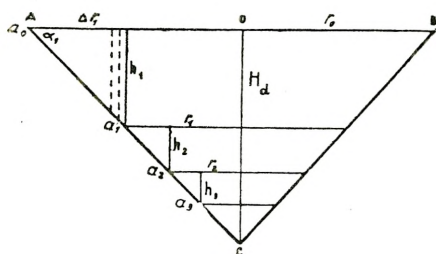
$$G = \frac{3H_v - H_d}{H_d} = 3 \cdot \frac{H_v}{H_d} - 1. \quad (23)$$

Jei tūrio išsivystymo rodiklis $J_t = 3 \cdot \frac{H_v}{H_d}$ lygus 1, tai visas ežero vanduo tilptų į pagrindinį konusą: jo pagrindas lygiaplotis su ežero paviršiumi, o aukštinė lygi su didžiausiu ežero gyliu. Jeigu jis lygus netikrajai trupmenai, tai vanduo į tokį konusą netilptų, o jei tikrajai, tai konusas būtų nepilnas. Šitai orientacijai gana svarbu, tuo labiau, kad išskaičiuoti tokio konuso tūrį labai lengva. Vartojant tūrio išsivystymo rodiklį, reikėtų turėti omenyje ne tiek patį dubenį ir jo vystymąsi, kiek vandens masę, jos tūrį, reikėtų kreipti dėmesį į tai, ar ji tilptų ar netilptų į pagrindinį konusą.

Dėl paties dubens, jo išsivystymo, jo dugno reljefo, vėl reikia kartoti, kad daugiausia apie visa tai pasako batimetrinis planas. Iš jo matyti, kur dugnas leidžiasi nuožulniau, o kur stačiau: kur izobatos lyg susispiečia, ten dugnas leidžiasi stačiau, kur viena nuo kitos lyg bėga, traukiasi, ten dugnas leidžiasi nuožulniau.

b) Dugno polinkis ir nuolydis

Dugno laikysime visą dubens paviršių, virš kurio tyvuliuoja ar tyvuliavo vanduo. Taigi dugną turi ne vien pelaginė sritis, bet ir sublitoralinė ir litoralinė (priekrantinė) zonos. Polinkis ir nuolydis šiaip kalboje reiškia tą patį dalyką, būtent atšlaitės paviršiaus padėtį horizontalios plokštumos atžvilgiu. Bet mes, kalbėdami apie atšlaitės polinkį, praktiniais sumetimais turėsime omenyje kampą



36 pav. Ežero dubuo, pavaizduotas konuso profiliu

α (36 pav.), o kalbėdami apie nuolydį, turėsime omenyje to kampo tangensą — $\operatorname{tg} \alpha$.

Paprastumo sumetimais ežerą vaizduosimės konuso pavidalo. O — ežero paviršiaus centras, $OB=OA=r_0$ — to paviršiaus spindulys, $r_1, r_2, r_3, \dots$ — izobatinių paviršių spinduliai; taigi $\pi r_0^2 = a_0$, $\pi r_1^2 = a_1$, $\pi r_2^2 = a_2$ ir t. t.; $2\pi r_0 = L = J_0$ (krantinei); $2\pi r_1 = J_1$ (pirmajai izobatai) ir t. t.; $r_0 - r_1 = \Delta r_1$; $r_1 - r_2 = \Delta r_2$, $r_2 - r_3 = \Delta r_3$ ir t. t.; $h_1, h_2, h_3, \dots$ — sluoksnių storai; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots$ — dugno polinkio kampai.

Atkreipsime ypatingą dėmesį į skirtumus tarp izobatinių paviršių plotų $a_0 - a_1 = \Delta a_1$, $a_1 - a_2 = \Delta a_2$, $a_2 - a_3 = \Delta a_3$ ir t. t. Iš šių izobatinių paviršių skirtumų projekcijų į ežero paviršių kaip tik susidaro ežero paviršius. Jei tų skirtumų yra n , tai

$$a_0 = \Delta a_1 + \Delta a_2 + \Delta a_3 + \dots + \Delta a_n.$$

Jeigu šios lygybės abi puses padalytume iš skirtumų skaičiaus n , tai gautume aritmetinį skirtumų vidurkį, kurį pažymėsime simboliu Δa . Taigi

$$\frac{a_0}{n} = \Delta a, \text{ arba } a_0 = n\Delta a, \text{ arba}$$

$$a_0 = \Delta a + \Delta a + \dots + \Delta a \quad (n \text{ kartų}).$$

Matome, kad įvairius skirtumus galima pakeisti jų aritmetiniu vidurkiu.

Šitai, nelyginant lema, reikia įsidėmėti, nes tai palengvins tolesnius išrodinėjimus.

Iš brėžinio matyti (žr. 36 pav.), kad santykis

$$\frac{h_1}{r_0 - r_1} = \frac{h_1}{\Delta r_1} = \operatorname{tg} \alpha_1,$$

kur α_1 — atšlaitės, arba šlaito, polinkio kampas. Šis santykis nekis, jei, kampo α_1 nekeisdami, h_1 paslinksime į dešinę ar į kairę. Jei h_1 vis slinksime į kairę ir jį mažinsime, t. y. jei vis imsimė plonesnį ir plonesnį sluoksnį, tai h_1 , mažėdamas, artės prie kampo α_1 viršūnės, spindulys r_1 didės, o skirtumas Δr_1 mažės, — mažės ir mažės ligi 0. Tokiu atveju bus galima parašyti: $r_1 \approx r_0$.

Šitai visa įsidėmėję, imkime santykį

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{h_1}{\Delta r_1} = \frac{h_1}{r_0 - r_1},$$

jo skaitiklį ir vardiklį padauginame iš $\pi r_0 r_1$ ir atlikime reikalingas transformacijas:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha_1 &= \frac{h_1}{r_0 - r_1} = \frac{h_1 \pi r_1 r_1}{(r_1 - r_1) \pi r_0 r_1} = \frac{h_1}{\pi r_0^2 r_1 - \pi r_1^2 r_0} \cdot \pi r_0 r_1 = \\ &= \frac{h_1}{a_0 r_1 - a_1 r_0} \cdot \pi r_0 r_1. \end{aligned}$$

Daugmenį $\pi r_0 r_1$ padalykime ir padauginame iš 4 ir atlikime reikalingus pertvarkymus:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha_1 &= \frac{h_1}{a_0 r_1 - a_1 r_0} \cdot \frac{4 \pi r_0 r_1}{4} = \frac{h_1}{a_0 r_1 - a_1 r_0} \cdot \frac{2 \pi r_1 r_1 + 2 \pi r_1 r_0}{4} = \\ &= \frac{h_1}{a_0 r_1 - a_1 r_0} \cdot \frac{J_0 r_1 + J_1 r_0}{4}. \end{aligned}$$

Jei sluoksnis labai plonas, tai $r_1 \approx r_0$, ir formulė supaprastėja:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha_1 &= \frac{h_1}{a_0 r_1 - a_1 r_0} \cdot \frac{J_1 r_1 + J_1 r_0}{4} \approx \frac{h_1}{a_0 r_0 + a_1 r_0} \cdot \frac{J_1 r_0 + J_1 r_0}{4} = \\ &= \frac{h_1}{r_0 (a_0 + a_1)} \cdot \frac{r_1 (J_0 + J_1)}{4} = \frac{h_1}{\Delta a_1} \cdot \frac{J_0 + J_1}{4}, \end{aligned}$$

arba tiesiai

$$\operatorname{tg} \alpha_1 \approx \frac{h_1}{\Delta a_1} \cdot \frac{J_0 + J_1}{4}.$$

Praktikoje nieks labai plonų sluoksnių neima, taigi praktikoje spinduliai r_0 ir r_1 gana skiriasi. Aišku, kad turi skirtis ir rezultatai,— išskaičiuoti nuo išmatuotų tikrovėje. Tik neaišku, ar tikrieji rezultatai bus didesni ar mažesni už išskaičiuotus. Kad tai paaiškėtų, imkime konkretų pavyzdį.

Sakykime, kad reiškiniuose

$$\frac{h_1}{a_0 r_1 - a_1 r_0} \cdot \frac{J_1 r_1 + J_1 r_0}{4} \quad (I)$$

ir

$$\frac{h_1}{a_0 r_0 - a_1 r_0} \cdot \frac{J_1 r_0 + J_1 r_0}{4} \quad (II)$$

$h_1 = 1$, $a_0 = 4$, $r_1 = 5$, $a_1 = 3$, $r_0 = 6$, $J_0 = 8$ ir $J_1 = 6$.

Tokiu atveju reiškinių (I) atitiks toks konkretus reiškinyss:

$$\frac{1}{4 \cdot 5 - 3 \cdot 6} \cdot \frac{8 \cdot 5 + 6 \cdot 6}{4} = \frac{19}{2}.$$

O reiškinių (II) atitiks:

$$\frac{1}{4 \cdot 6 - 3 \cdot 6} \cdot \frac{8 \cdot 6 + 6 \cdot 6}{4} = \frac{7}{2}.$$

Iš konkretaus pavyzdžio matome, kad, pakeitus mažesnę dydį didesniu, rezultatas sumažėjo daugiau kaip du kartus. Taigi ir formulė

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{h_1}{\Delta a_1} \cdot \frac{J_0 + J_1}{4}$$

turi duoti rezultatus daugiau kaip du kartus mažesnius.

Dėl to praktikoje naudojamosi ne ja, bet tokia:

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{h_1}{\Delta a_1} \cdot \frac{J_0 + J_1}{2}. \quad (24)$$

Praktika šią formulę pateisina.

Tikrovėje dugnas retai būna vienodo polinkio. Paprastai jis kinta kas sluoksnis (37 pav.). Tai reikia išskaičiuoti tangensą kiekvienam kampui, sudarytam dugno su horizontalia plokštuma. Pagaliau galima išskaičiuoti polinkio vidutinio kampo α_v tangensą — $\operatorname{tg} \alpha_v$, būtent:

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{h_1}{\Delta a_1} \cdot \frac{1}{2} (J_0 + J_1)$$

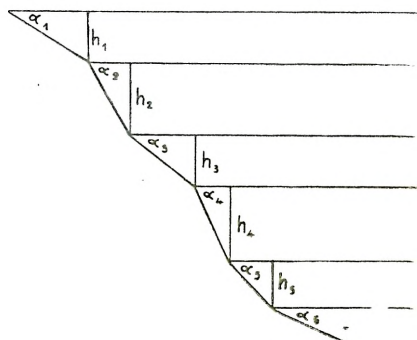
$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{h_2}{\Delta a_2} \cdot \frac{1}{2} (J_1 + J_2)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_3 = \frac{h_3}{\Delta a_3} \cdot \frac{1}{2} (J_2 + J_3)$$

.....

.....

$$\operatorname{tg} \alpha_n = \frac{h_n}{\Delta a_n} \cdot \frac{1}{2} (J_{n-1} + J_n).$$



37 pav. Dugno polinkio kampai $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots$

Vidutinio kampo tangensą ($\operatorname{tg} \alpha_v$) surastume, visus tangensus sudėję ir sumą padaliję iš jų skaičiaus n :

$$\operatorname{tg} \alpha_v = \frac{\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2 + \operatorname{tg} \alpha_3 + \dots + \operatorname{tg} \alpha_n}{n}.$$

arba

$$\operatorname{tg} \alpha_v = \frac{\sum \operatorname{tg} \alpha_{1 \dots n}}{n}.$$

$$\begin{aligned} \text{Reiškinys } \sum \operatorname{tg} \alpha_{1 \dots n} &= \frac{h_1}{\Delta a_1} \cdot \frac{1}{2} (J_0 + J_1) + \frac{h_2}{\Delta a_2} \cdot \frac{1}{2} (J_1 + J_2) + \\ &+ \frac{h_3}{\Delta a_3} \cdot \frac{1}{2} (J_2 + J_3) + \dots + \frac{h_n}{\Delta a_n} \cdot \frac{1}{2} (J_{n-1} + J_n). \end{aligned}$$

Kai $h_1 = h_2 = h_3, \dots, = h_n = h$ ir kai skirtumus $\Delta a_1, \Delta a_2, \Delta a_3, \dots, \Delta a_n$ pakeičiame jų aritmetiniu vidurkiu, t. y. suvienodiname ir padarome lygius dydžiui Δa (prisiminkime mūsų leimą), formulė suprastėja ir įgyja tokį pavidalą:

$$\sum \operatorname{tg} \alpha_{1 \dots n} = \frac{h}{\Delta a} \cdot \frac{1}{2} (J_0 + 2J_1 + 2J_2 + \dots + 2J_{n-1} + J_n),$$

arba

$$\sum \operatorname{tg} \alpha_{1 \dots n} = \frac{nh}{n\Delta a} \cdot \left(\frac{J_0}{2} + J_1 + J_2 + \dots + J_{n-1} + \frac{J_n}{2} \right).$$

Reiškinys $n\Delta a = a_0$, nes iš visų izobatinių plotų skirtumų projekcijų susidaro ežero paviršiaus plotas. Taigi galime rašyti:

$$\begin{aligned}\operatorname{tg} \alpha_v &= \frac{\sum \operatorname{tg} \alpha_{1\dots n}}{n} = \frac{\frac{nh}{a_0} \left(\frac{J_0}{2} + J_1 + J_2 + \dots + J_{n-1} + \frac{J_n}{2} \right)}{n} = \\ &= \frac{h}{a_0} \left(\frac{J_0}{2} + J_1 + J_2 + \dots + J_{n-1} + \frac{J_n}{2} \right),\end{aligned}$$

arba tiesiai

$$\operatorname{tg} \alpha_v = \frac{h}{a_0} \left(\frac{J_0}{2} + J_1 + J_2 + \dots + J_{n-1} + \frac{J_n}{2} \right) \quad (25)$$

Paprastai izobata J_n pusiau nedalijama, nes ji ir be to labai maža. Dažnai pusiau nedalijama ir krantinės linija $L = J_0$. Tokiu būdu formulė įgyja šį pavidalą:

$$\operatorname{tg} \alpha_v = \frac{\Delta z}{a_0} \sum J_{0\dots n}, \quad (25a)$$

kur $\sum J_{0\dots n}$ — izobatų ilgių suma, Δz — gylių tarp gretimų izobatinių paviršių skirtumas.

Kai dugno reljefas, taip sakant, monotoniškas, tai ši formulė duoda tikslūs rezultatus. Bet dugno reljefas įvairus, tai rezultatų tikslumas nuo to įvairumo nukenčia ir formulė gali nustoti prasmės. Tai jau buvo pastebėjęs savo laiku A. F. Forelis.

c) Dugno plotas F

Ežero paviršius a_0 yra ne kas kita, kaip dugno F projekcija. Taigi

$$\frac{a_0}{F} = \cos \alpha,$$

arba

$$F = \frac{a_0}{\cos \alpha}. \quad (26)$$

Imamas vidutinis nuolydžio kampas α_v ir gaunama ežero dugno ploto formulė:

$$F = \frac{a_0}{\cos \alpha_v}. \quad (26a)$$

Dugno plotas labai svarbus duomuo biologiniu požiūriu. Labai svarbu žinoti ir litoralinės zonos plotą. Jį galima apytik-

riai sužinoti, pasinaudojus ežero perimetro ilgiu ir litoralinės zonos plotiu, kuris nustatomas tiesioginiu būdu.

*

Dugno reljefo išsivystymas ir dugno išplitimas. Jau krantinės išsivystymo klausimas, kaip matėme, gana keblus, juo labiau dugno išsivystymo klausimas. Ten dabar verčiamasi laužtine gaubiamąja linija, tai čia analogiškai reiktų verstis laužtiniu gaubiamuoju paviršiumi. Bet praktiškai tai neįmanoma.

Skaičiuojant dugno reljefo išsivystymą, taikytina tokia formulė:

$$J_r = V_1 : V_2, \quad (27)$$

kur J_r — dugno reljefo išsivystymas, V_1 — dubens tūris, išskaičiuotas, atsižvelgiant į įdubimus ir iškilimus, o V_2 — dubens tūris, išskaičiuotas, neatsižvelgiant į dugno reljefo nelygumus, t. y. atmetant nuo tūrio skaičiavimo formulių paskutinius dėmenis:

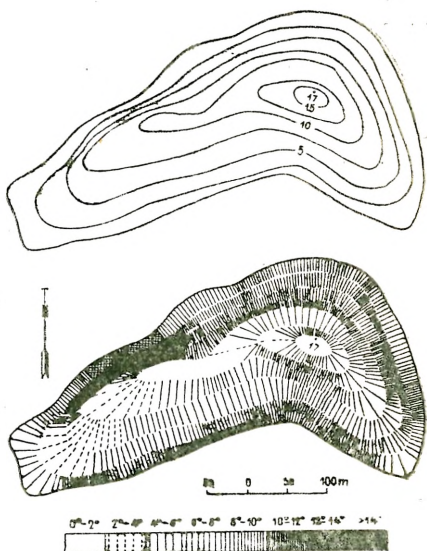
$$\frac{a_n h_{n+1}}{2}, \frac{a_n h_{n+1}}{3}, \frac{1}{2} \sum s_d h_d, \frac{1}{2} \sum s_k h_k.$$

Jei nelygumų nėra, tai $V_1 = V_2$, ir formulė duoda 1. Tai reiškia, kad reljefas yra išsivystęs, visi nelygumai jau yra išnykę.

Kai kas naudojasi atvirkščiu santykiu:

$$\frac{1}{J_r} = V_2 : V_1.$$

Jei pagrindo konuso šoninis paviršius deformuojasi, t. y. pasidaro įgaubtas ar išgaubtas,— abiem atvejais tas paviršius išplinta, pasidaro didesnis. Taigi, norėdami surasti dugno išplitimo



38 pav. Ežero dugno reljefas, pavaizduotas izobatomis ir įvairiais štrichais

rodiklį J_d , turėtume dugno plotą F dalyti iš pagrindo konuso paviršiaus ploto S .

$$J_d = \frac{F}{S}. \quad (28)$$

Galima išreikšti dydžio S procentais:

$$J_d = \frac{F}{S} \cdot 100\%. \quad (28a)$$

Si formulė gali duoti tik 1 (100%) arba netikrąją trupmeną (daugiau kaip 100%).

Lietuvoje, V. Chomskio iniciatyva, prigijo polinkiams pavaizduoti toks štrichavimo būdas (38 pav.). Pasinaudojus batimetriniu planu, surandami polinkių kampai ir ežero dugnas pagal tam tikrą štrichų skalę štrichuojamas. Jei polinkis arti 0, tai tokia vieta neliečiama. Efektas gaunamas labai ryškus. Tuo galima įsitikinti iš nurodyto pavyzdžio — ežero dugno reljefo atvaizdavimo. Izobatos brėžtos kas 5 m.

7. VI grupė: RODIKLIAI, BŪDINANTIEJI EŽERO VANDENS MASĘ

Svarbiausias morfometrinis duomuo, kuris būdina vandens masę, yra tos masės tūris. Vandens masės tūrį reikia skirti nuo dubens tūrio. Juos skiria vieną nuo kito dinamiškumo laipsnis: vandens masės tūris dinamiškesnis, t. y. kinta daug sparčiau už dubens tūrį, pasidaro čia didesnis, čia mažesnis, todėl ežero paviršiaus lygis svyruoja, — tai pakyla, tai nuslūgsta. Drauge ežero paviršiaus plotas tai padidėja, tai sumažėja. Tuos vandens masės ir ežero paviršiaus dydžių svyravimus, kaip matėme, labai gražiai pavaizduoja plotų ir tūrių kreivės.

Mes apie dubens tūrį kalbėjome pirmiau negu apie vandens masės tūrį dėl to, kad jis sąlygoja vandens masės tūrį. Juk aišku: turi būti pirma susidaręs dubuo, kad jame galėtų susitelkti vandens masė, ir juo tas dubuo didesnis, tuo daugiau vandens gali jame tilpti.

Kalbėdami apie tūrį, dubenį vis vaizdavomės pripildytą vandens, ėmėme vandens sluoksnius ir t. t. Todėl vandens masės tūrio skaičiavimui tinka visos mūsų anksčiau išvestos tūrio skaičiavimo formulės, tinka visi jau nurodyti būdai, tiek analiziniai, tiek grafiniai.

Cia vėl prisimintinas tūrio išsivystymo rodiklis

$$J_t = 3 \frac{H_v}{H_d},$$

kuris visų pirma sietinas su vandens mase. Pastebėta, kad juo šis rodiklis arčiau 1, tuo batigrafinė kreivė, redukuota į vienus pagrindus, konusiškesnė, o kai tas rodiklis lygus 1, tai gaunama gryna konusinė batigrafinė kreivė. Tai reiškia, kad tokiu atveju į pagrindinį konusą vandens masė tilptų. Jei rodiklis būtų didesnis už 1, tai vanduo liėtųsi pro pagrindo kraštus, o jei mažesnis, tai pagrindinio konuso nepripildytų. Pagrindinio konuso tūris, kuris, turint a_0 ir H_d , lengvai išskaičiuojamas, įgalina įsigyti preliminarinę nuovoką apie vandens masės dydį.

Vandens masės tūrį dar būdina ežero baseino dydis,—tas plotas, iš kurio ar nuo kurio ežeras surenka vandenį, o taip pat intakų ir ištakų skaičius.

Paprastai, juo ežero baseinas didesnis, tuo daugiau ežeras gauna vandens. Bet iš tikrųjų ne visada taip esti. Čia dar svarbus ir kritulių kiekis, ir tereno vandeniui laidumas, ir to tereno orografiniai savumai.

Intakai ir ištakai labai veikia vandens masės tūrio dinamiką: intakai vandens masės tūrį didina, o ištakas, kuris paprastai būna vienas,—mažina. Tuo kaip tik pasireiškia morfometrinė intakų ir ištakų skaičiaus reikšmė ir ežero padėties upės atžvilgiu svarba morfometriniu požiūriu.

Pastebėtinas ežero ploto rodiklis $P = \frac{a_0}{B}$, kur B — ežero baseino plotas.

*

Pagal padėtį upės atžvilgiu ežerai skirstomi į nutekamuosius ir nenutekamuosius. Nutekamieji turi intakų ir ištakų (pratakiniai ežerai) arba tik ištaką (ištakiniai ežerai). Pastarieji paprastai būna prie vandenskyrų. Tai juos dar vadina vandenskyriniais. Nenutekamieji, arba uždarieji, ežerai, jei neturi ne tik ištako, bet ir intakų, vadinami aklinaisiais.

Kai kada upė prateka per keletą ežerų. Apskritai, upės su savo intakais ežerus susieja ir sudaro bendrą hidrografinį tinklą. Ne tik nuotakiniai (nutekamieji), bet ir nenuotakiniai (nenutekamieji) priklauso kurios nors upės baseinui. Todėl ežerai

skirstomi pagal upių baseinus. Ir toks skirstymas būna gana pastovus, kaip ir patys baseinai. Ežerai dar skirstomi pagal administracinius vienetus. Bet administraciniai vienetai greitai kinta, tai ežerų skirstymas pagal juos labai nepastovus, nors kai kuriais atžvilgiais (eksploatacijos) patogesnis negu skirstymas upių baseiniais.

Apyežeriui užpelkėjus, nutekamieji ežerai gali virsti nenutekamaisiais, nes organinių medžiagų sankaupos pripildo upę. Nenutekamuoju iš lėto virsta Amalvo ežeras, nes ištekanti iš jo upė Amalvė baigia užželti ir vis mažiau ir mažiau vandens bepraleidžia.

Ežero hidrologija, hidromechanika, termika, optika, chemizmas, biologija, dugninės nuosėdos — tai vis sritys, kurias tiria nemažas skaičius ežerotyrininkų, tiria vieni nuo kitų atskirai, tiria kompleksiškai, bendrai, jungdami savo pajėgas. Ežero morfometrija pateikia visų specialybių ežerotyrininkams pagrindines apie ežerą žinias.

MORFOMETRINĖ EŽERO CHARAKTERISTIKA

Morfometrinė ežero apžvalga, arba charakteristika,— tai pirmasis žingsnis į ežero ar ežerų tyrinėjimą. Visų pirma stengiamasi susidaryti bendrą ežero vaizdą, o po to jis imamas tyrinėti specialiau.

Pačioje apžvalgos pradžioje susidomima geografinė ežero padėtimi, reliatyvia ir absoliučia, o taip pat jo paviršiaus altitute. Žodžiu sakant, visų pirma susidomima ežero aplinka, ir ta aplinka plačiau ar siauriau apibūdinama. Nurodoma administracinis vienetas ir upės baseinas, kuriame yra ežeras. Ypačiai susirūpinama ežero pasiekimu ir prieinamumu.

Toliau stengiamasi susidaryti maždaug tokią morfometrinių duomenų lentelę:

1. Didžioji ašis
2. Mažoji ašis
3. Ilgis
4. Didžiausias plotis
5. Vidutinis plotis
6. Paviršiaus plotas
7. Salų skaičius
8. Bendras salų plotas

9. Salingumas %
10. Krantinės ilgis
11. Krantinės išsivystymas
12. Krantinės vingiuotumas
13. Vandens tūris
14. Tūrio išsivystymas
15. Didžiausias gylis
16. Vidutinis gylis
17. Galsų skaičius
18. Matavimų skaičius
19. Dugno plotas
20. Dugno ploto išplitimas
21. Dugno reljefo išsivystymas
22. Vidutinis dugno polinkis (arba nuolydis)
23. Baseino plotas
24. Intakų skaičius
25. Ištakų skaičius

Zinoma, ne visada šie duomenys visi pateiktini: destis, koks ežeras ir koks reikalas. Jei ežero ilgis sutampa su didžiosios ašies ilgiu, tai jis nežymimas. Jei ežere yra salų, tai dažnai lentelėje nurodomas bendras salų perimetro ilgis (ΣL_s). Lietuvos ežerų salos mažos, tai į jų perimetro ilgį paprastai nekreipiame dėmesio. Kai turima duomenų, pažymima ir vidutinė daugiametė vandens lygio svyravimo amplitudė.

J. B. Litinskis lentelėje dar pažymi šiuos santykius: 1) $\pi R^2 : a_0$, kur R — spindulys skritulio, kurio apskritimo ilgis lygus ežero perimetro ilgiui; 2) $a : R$, kur a — pusė didžiosios ašies, o R — spindulys skritulio, lygiapločio su ežero akvatorija, ir 3) $H_v : \sqrt{a_0}$. Paskutinį santykį pasiūlė 1949 metais P. V. Ivanovas ir pavadino jį reliatyvaus gilumo rodikliu „a“. Šis rodiklis kinta nuo 0,1 iki 20, būtent:

nuo	0,1	iki	0,5	—	seklių ežerų;
„	0,5	„	2	—	negilių „
„	2	„	4	—	gilokų „
„	4	„	10	—	gilių „
„	10	„	20	—	labai gilių ežerų.

Verti dėmesio dar du Litinskio lentelėje figūruojantieji rodikliai: 1) santykis $a_0 : (L + \Sigma L_s)$, kur L — ežero perimetro ilgis,

o ΣL_s — salų perimetrų suma, ir 2) plotas didžiausio skritulio, kokį tik galima į ežero akvatoriją įbrėžti. Abu šie rodikliai nurodo ežero įtakos krantams apimtį ir intensyvumą, nes to skritulio plotas nekludomai prieinamas visų krypčių vėjams, kas reikšminga ir ežero vandenų dinamikai, ir sąmašai.

Jei ežero dubuo labai sudėtingas, sudarytas lyg iš kelių dubenų, tai kiekvienam tokiam dubeniui morfometriniai duomenys rinktini atskirai, nes jie prasmės turi tik tada, kai dubuo homogeomorfinis, t. y. to paties morfologinio pobūdžio. Taigi, nustatant morfometrinius rodiklius, paisytina ir ežero morfografijos, ir ežero morfogenezės.

Toliau sudaroma tokia lentelė:

Gylis z m	Plotas		Izobatų ilgis m	Gylių eiga m	Skirtumas b' o' u tarp dviejų izobatų		Tūris tarp dviejų izobatų		Dugno polinkis
	ha	%			ha	%	m³	%	
0	40,95	100	4 600	0—2	16,20	39,56	657 000	61,15	2°47'
2	24,75	61,44	3 300	2—4	16,10	39,32	333 000	31,09	1°53'
4	8,65	21,12	2 000	4—6	8,10	19,78	82 000	7,63	1°35'
6	0,55	1,34	230	6—6,5	0,55	1,34	1 375	0,13	0°36'
	40,95	100					1 074 375	100	

Lentelė sudaroma iš batimetrinio plano. Ji dar iliustruojama plotų (batigrafine) ir tūrių kreivėmis. Jas lengva sudaryti, pasinaudojus plotų ir tūrių skilčių duomenimis. Iš plotų skilties galima imti tiesiai, o imant iš tūrių skilties, tik paskutinis duomuo, būtent ežero tūris duotas betarpiškai. Kitus poizobatinius tūrius tenka išskaičiuoti. Pirmasis poizobatinis tūris bus: $1\,074\,375 - 657\,000 = x$, antrasis poizobatinis tūris bus: $1\,074\,375 - (657\,000 + 333\,000) = y$, ir t. t.

Batigrafinę ir tūrių kreivę galima sutalpinti į vieną brėžinį: batigrafinę kreivę kairėje brėžinio pusėje, tūrių — dešinėje. Vertikalinėje ašyje žymimi gyliai kaip visuomet, o horizontalinėje — plotai ir tūriai: plotai — brėžinio apačioje, tūriai — brėžinio viršuje.

Toliau nurodomas santykis vidutinio gylio su didžiausiu gyliu (ar — vidutinio gylio su nuotoliu nuo ežero paviršiaus ligi svorio centro) ir reliatyvusis talpumas. Pagaliau paliečiamos tolesnio ežeru domėjimosi ir ūkinės perspektyvos. Norėdami būti konkretūs, susipažinsime su viena tokia ežero morfometrine apžvalga, arba charakteristika.

Kryžiuočių ežeras

Kryžiuočių ežeras — tai Žaliųjų ežerų grupės ežeras, Riešės upės baseine, į šiaurę nuo Vilniaus miesto. Šis ežeras Žaliųjų ežerų grupėje vaidina pagrindinį vaidmenį.

Geografinė Kryžiuočių ež. padėtis x N ir y E, o jo paviršiaus altitudė H m NN. Jis yra maždaug 20 m žemiau už gretimą Gulbinų ežerą.

Priėjimo atžvilgiu šį ežerą reikia skelti pusiau: į šiaurės vakarų pusę ir į pietų rytų pusę. Šiaurės vakarų pusės krantai drėgnoki, nes ežerą daugiausia supa gana šlapia pieva. Pietų rytų krantai visai kitokie, išskyrus patį pietinį ežero galą, kur krantai šlapiai. O šiaip pietrytinės Kryžiuočių ež. pusės krantai sausi, ypačiai iš vakarų, apaugę mišku. Rytinis krantas pieva, bet nešlapia.

Konstatuoti tokie Kryžiuočių ež. morfometriniai duomenys:

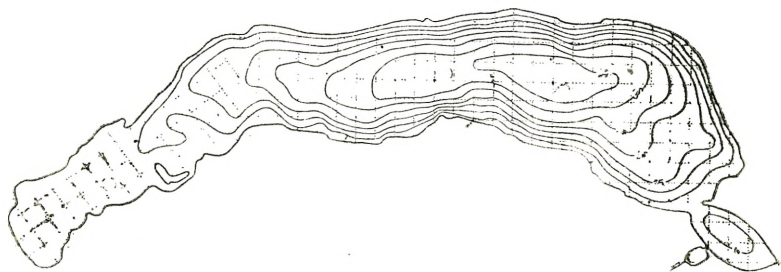
1. Didžioji ašis m	1 960
2. Mažoji ašis m	720
3. Ilgis m	—
4. Didžiausias ež. plotis m	455
5. Vidutinis ež. plotis m	281
6. Ežero paviršiaus plotas ha	55,00
7. Salų skaičius	1
8. Salų plotas ha	0,20
9. Salingumas %	0,36
10. Krantinės ilgis m	5 200
11. Krantinės išsivystymas	1,98
12. Krantinės vingiuotumas	—
13. Vandens tūris m ³	8 332 920
14. Tūrio išsivystymas	1,17
15. Didžiausias ež. gylis m	38,80
16. Vidutinis ež. gylis m	15,21

17. Galsų skaičius	42
18. Matavimų skaičius	341
19. Ežero dugno plotas ha	—
20. Vidutinis dugno polinkis	10°04'
21. Baseino plotas km ²	—
22. Intakų skaičius	0
23. Ištakų skaičius	1

Iš tolesnių skaičiavimų sudaryta tokia lentelė:

Gylis z m	Plotas		Izobatų ilgis m	Gylių eiga m	Skirtumas plotų tarp dviejų izobatų		Tūris tarp dviejų izobatų		Dugno polinkis
	ha	%			ha	%	m ³	%	
0	54,80	100,0	5 200	0—5	15,26	27,85	2 358 500	28,33	8°42'
5	29,54	72,15	4 140	5—10	7,74	14,13	1 783 500	21,40	13°10'
10	31,80	58,03	3 100	10—15	6,08	11,09	1 438 000	17,25	13°38'
15	25,72	46,93	2 800	15—20	7,02	12,81	1 110 500	13,32	10°30'
20	18,70	34,12	2 400	20—25	5,46	9,97	798 500	9,58	11°24'
25	13,24	24,16	2 000	25—30	5,34	9,73	528 500	6,34	9°34'
30	7,90	14,44	1 600	30—35	5,22	9,53	264 500	3,17	6°33'
35	2,68	4,89	800	35—38,8	2,68	4,89	50 920	0,61	3°15'
					54,80	100,0	8 332 920	100,0	

Kryžiuočių ežero dugno reljefas taip atrodo (39 pav.).



39 pav. Batimetrinis Kryžiuočių ežero planas

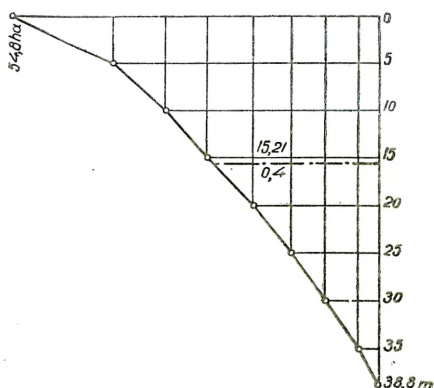
Iš plano matyti, kad Kryžiuočių ež. yra tipingas rininis ežeras. Taip pat rinoje tyvuliuoja Mažųjų Gulbinių ir Gulbinių ežerai.

Kryžiuočių ežero batigrafinė ir tūrių kreivės turi tokį pavidalą (40 ir 41 pav.).

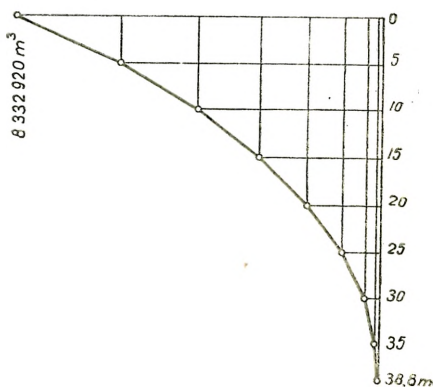
Santykis vidutinio gylio su didžiausiu ežero gyliu: $k = 15,21 : 38,80 = 0,40$. Reliatyvusis talpumas 40%.

*

Šis ežeras, kaip ir kiti Žaliųjų ežerų grupės ežerai, visų pirma dėmesį į save patraukia vandens spalva, kuri yra aiškiai žalia. Tai priklauso nuo kelių veiksnių. Artimojoje ežero aplinkoje esama ištiesų klotų gėlavandenių klinčių. Dėl jų įtakos ežero vanduo gana kietas. Pastebėta, kad tokio vandens spalva iš tolo atrodo žalsva. Antra, žalumo įspūdį sustiprina supantis ežerą miškas. Trečia, čia nemažai turi reikšmės ir žalios spalvos dumbliai. Puišios Žaliųjų ežerų apylinkės sutraukia daug vasarotojų ir poilsiautojų, ypačiai pietrytinės Kry-



40 pav. Kryžiuočių ežero batigrafinė kreivė



41 pav. Kryžiuočių ežero tūrių kreivė

žiuočių ežero dalies apylinkės. Žaliųjų ežerų apylinkės apskritai — tai puikios kurortinės vietos, todėl jos Vilniaus gyventojų ir šiaip turistų iš Lietuvos ir kitų tarybinių respublikų mielai lankomos. Ežero pavadinimas jiems primena lietuvių ir jų kaimynų kovas su kryžiuočiais. Padavimas sako, kad Vytauto laikais kryžiuočiai Vilniaus apylinkėse buvę apsupti, jie gelbėdamiesi subėgę ant ežero, bet ledas jų neatlaikęs, ir jie

nuskendę. Istoriniai prisiminimai Žaliuosius ežerus daro dar įdomesnius.

*

Tai tokie ežero morfometrinės charakteristikos patys stambiaji bruožai. Aišku, kad tokia charakteristika — tai ne ežero monografija. Kuriuo planu tiriami ežerai, taigi ir rašomos monografijos apie juos, pakalbėsime baigiamojoje dalyje, aptardami praktinę limnologiją. Šiuo tarpu tik pažymėsime, kad limnologai, kurie turi reikalo su gausesniais ir didesniais ežerais negu Lietuvoje, stengiasi įtraukti į lentelę kiek galint daugiau duomenų. Pavyzdžiui, žinomas Karelijos ežerų tyrinėtojas J. B. Litinskis 1960 m. pasiūlė lentelę, apimančią net 39 pozicijas, kurias jis suskirsto į 4 grupes: 1) padėties, 2) morfometrinių, 3) limnomorfogenezinių ir 4) hidromorfologinių rodiklių. Paskutinę grupę gal būtų geriau vadinti hidromorfografinių rodiklių grupe. Žodžiu, Litinskio lentelėje stengiamasi ežerą nušviesti iš įvairių pusių, ir ji yra panaši į mažytę ežero monografiją. Mes savo lentelei tokių plačių ir didelių uždavinių neskyrėme, nors, ją sudarydami, taip pat atsižvelgėme į morfografinius ir morfogenezinius momentus, bet vis dėlto žiūrėjome, kad lentelė būtų visų pirma morfometriška. Kai yra reikalas, morfografinių ir morfogenezinių duomenų pateikiame ežero charakteristikos tekste.

EŽERO VANDENS MASĖ

I. EŽERO HIDROLOGINIS REŽIMAS

I. EŽERO VANDENS MASĖS FORMA, KILMĖ IR ESMĖ

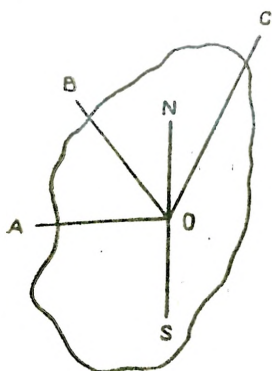
Studijuodami ežero morfologiją, visų pirma dėmesį kreipėme į dubens pavidalą ir į jo matmenis, t. y. į morfometrinius rodiklius. Visa tai turi lemiamą reikšmę ežero vandens masės apibūdinimui ir tiems procesams, kurie toje masėje vyko ir vyksta. Pavyzdžiui, vėjas dideles bangas sukelti gali tik tuo atveju, jei ežero paviršiaus plotas gana didelis; be to, negilių ežerų vėjo išjudinama visa masė kiaurai, o gilių — tik paviršiniai sluoksniai. Taip pat ir šiluma, gauta iš saulės, negiliuose ežeruose prasiskverbia iki dugno, o giliuose — tik pro paviršinius sluoksnius. Dugną giliuose ežeruose šiluma pasiekia daug sunkiau negu sekliuose.

Iš šių kelių teiginių aišku, kad, kalbant apie ežero vandens masę, vis reikia turėti akivaizdoje dubenį, — jo morfologiją ir morfometriją. Naudinga vaizduotis vandens masę lyg išlietą iš stiklo ar sudarytą iš ledo. Tuo būdu labai išryškėja ežero dugno reljefas ir ežero vandens masės forma, kuri yra tokia pat, kaip ir ežero dubens forma. Tos formos pagrindas viršuje; jį sudaro ežero paviršius. Reikia išmokti tame pagrinde, t. y. ežero paviršiuje, susivokti, orientotis. Ypačiai svarbu mokėti pažymėti plane tas vietas, kuriose vykdomi kurie nors stebėjimai ar atliekami kurie nors tyrimai.

Ežero paviršiuje ypačiai sunku orientotis naktį ar ūknotą dieną. Giedrą dieną tame paviršiuje susivokti padeda jo aplinkoje esantieji objektai: medžiai, trobesiai, bokštai, gairės. Tokių objektų, arba taškų, reikia pasirinkti mažiausiai tris: *A*, *B* ir *C* (42 pav.).

Sakykime, jog mums reikia nustatyti ežero paviršiuje patiktą taško *O*, kuriame yra šiuo metu mūsų valtis. Iš jos tam

tikru instrumentu išmatuojame kampus, sudarytus tiesiųjų OA , OB ir OC su meridianu NS . Valtis turi būti pritvirtinta prie taško O negiliame ežere metais ar inkarais, o giliame —



tik inkarais, kuriuos gali pavaduoti pabrišti akmenys. Toliau imame tinkamo didumo permatomo popieriaus lapelį ir sudarome jame iš turimų duomenų brėžinį. Tą brėžinį dedame ant plano taip, kad tiesiosios OA , OB ir OC eitų per taškus A , B ir C , pažymėtus plane ir pro skaidrų popierių matomus. Taškas O atsiders toje vietoje, kurioje buvo valtis.

*

42 pav. Taško padėties ežero paviršiuje nustatymas (pagal Lipiną)

Kaip skiriame pirminį ežero dubenį nuo dabartinio, taip ir pirminę ežero vandens masę reikia skirti nuo dabartinės. Dabartinė ežero vandens masė yra ne tik ne ta, bet ir ne tokia, kokia buvo pirminė.

Aišku, kad daugumas Lietuvos ežerų pirminius vandenį gavo iš ištirpusių ledynų ir atmosferinių kritulių. Iš tų pačių veiksnių pirminius vandenį gavo ir daugumas Baltijos aukštumos, Latvijos, Estijos, Karelijos, Suomijos, Skandinavijos, Kanados ežerų. Upinės kilmės ežerai pirminius vandenį gavo iš upių, o jūrinės — iš jūrų. Šie pavyzdžiai rodo, kad ežero pirminių vandenų kilmė yra labai susijusi su dubenų kilme. Taigi atsakymas į klausimą — kokia buvo pirminių vandenų kilmė? — nėra sunkus.

Atsakymas į klausimą — kas yra ežero vandens masė? — yra sunkesnis, nes tos masės sudėtis labai įvairi ir nepastovi. Žinoma, ežero vandens masei pagrindą sudaro junginys H_2O , bet tame junginyje yra ištirpusių daug ir įvairių medžiagų, ypačiai chloridų ir oro. Tai ežero vanduo yra tirpalas, tiksliau — molekulinį ir koloidinių tirpalų kompleksas; be to, esama jame daugybės suspenduotų neorganinių ir organinių dalelių, — suspensijų. Bendriausias ir tiksliausias atsakymas į klausimą apie ežero vandens masės esmę bus toksai: pati ežero vandens masė, būdama aplinkoje, yra aplinka, kurioje vyksta įvairūs fiziniai, che-

miniai ir fizikocheminiai procesai, o svarbiausia — tai aplinka, kuri sąlygoja įvairių organizmų gyvenimą, didelių ir mažų, augalų ir gyvūnų, iš kurių svarbiausi ekonominiu požiūriu — žuvys; jų vienos minta kitomis žuvimis, o kitos minta planktonu, t. y. mikroskopiniais augalais (fitoplanktonu) ir tokiomis pat gyvuliais (zooplanktonu), masiškai augančiais ir besiveisiančiais ežero vandens masėje, o dar kitos minta bentošu, kurį sudaro dugninė fauna ir flora.

Mes į ežero vandens masę kaip tik taip ir žiūrėsime, nuolat turėdami omenyje, kad ežero vandens masė — tai aplinka, kurioje vyksta įvairūs fiziniai, cheminiai, fizikocheminiai procesai ir kuri sąlygoja įvairių organizmų gyvenimą.

2. EŽERO VANDENS SAVUMAI

Iš fizinių ežero vandens savumų dažniausiai tenka turėti reikalo su vandens tankiu, išreiškiamu formule

$$\varrho = \frac{m}{V} \text{ g/cm}^3, \quad (29)$$

kur ϱ — vandens tankis, m — masė, išreikšta gramais, o V — tūris, išreikštas kubiniais centimetrais. Kartais panaudojamas atvirkštinis santykis

$$\frac{V}{m} = \frac{1}{\varrho}. \quad (29a)$$

kuris vadinamas specifiniu vandens tūriu. Aišku, kad jis išreiškiamas cm^3/g .

Vandens tankis yra vandens temperatūros funkcija, nes kiekvieną vandens temperatūros reikšmę atitinka tam tikra vandens tankio reikšmė. Tos reikšmės yra sužymėtos 6 lentelėje.

Naudojantis šia lentele, reikia vis turėti omenyje, kad reikšmės nustatytos destiliuotam vandeniui, esant 1 atm spaudimui. Lietuvos ežerų vandens mineralingumas nedidelis, tai mūsų ežerų vanduo laikytinas labai artimu destiliuotam vandeniui. Be to, Lietuvos ežerai palyginti negilūs (giliausio Tauragnų ežero didžiausias gylis siekia tik 60,5 m), tai hidrostatinis slėgimas vandens tankiui turi mažai įtakos. Vanduo apskritai sunkiai duodasi suslegiamas.

Iš cheminių ežero vandens savumų svarbiausiais laikytini gėlumas ir sūrumas, — druskingumas.

Vandens tankis kaip vandens temperatūros funkcija

°C	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4
0	0.9998679	0.9998746	0.9998811	0.9998874	0.9998935
1	0.9999267	0.9999315	0.9999363	0.9999408	0.9999452
2	0.9999679	0.9999711	0.9999741	0.9999769	0.9999796
3	0.9999922	0.9999937	0.9999951	0.9999962	0.9999973
4	1.0000000	0.9999999	0.9999996	0.9999992	0.9999986
5	0.9999919	0.9999902	0.9999883	0.9999864	0.9999842
6	0.9999681	0.9999649	0.9999616	0.9999581	0.9999544
7	0.9999295	0.9999248	0.9999200	0.9999150	0.9999099
8	0.9998762	0.9998701	0.9998638	0.9998574	0.9998509
9	0.9998088	0.9998013	0.9997936	0.9997859	0.9997780
10	0.9997277	0.9997189	0.9997099	0.9997008	0.9996915
11	0.9996328	0.9996225	0.9996121	0.9996017	0.9995911
12	0.9995247	0.9995132	0.9995016	0.9994898	0.9994780
13	0.9994040	0.9993913	0.9993784	0.9993655	0.9993524
14	0.9992712	0.9992572	0.9992432	0.9992290	0.9992147
15	0.9991265	0.9991113	0.9990961	0.9990808	0.9990653
16	0.9989701	0.9989538	0.9989374	0.9989209	0.9989043
17	0.9988022	0.9987848	0.9987673	0.9987497	0.9987319
18	0.9986232	0.9986046	0.9985861	0.9985673	0.9985485
19	0.9984331	0.9984136	0.9983938	0.9983740	0.9983541
20	0.9982323	0.9982117	0.9981909	0.9981701	0.9981490
21	0.9980210	0.9979993	0.9979775	0.9979556	0.9979335
22	0.9977993	0.9977765	0.9977537	0.9977308	0.9977077
23	0.9975674	0.9975437	0.9975198	0.9974959	0.9974718
24	0.9973256	0.9973009	0.9972760	0.9972511	0.9972261
25	0.9970739	0.9970482	0.9970225	0.9969966	0.9969706
26	0.9968128	0.9967861	0.9967594	0.9967326	0.9967057
27	0.9965421	0.9965146	0.9964869	0.9964591	0.9964313
28	0.9962623	0.9962338	0.9962052	0.9961766	0.9961478
29	0.9959735	0.9959440	0.9959146	0.9958850	0.9958554
30	0.9956756	0.9956454	0.9956151	0.9955846	0.9955541
31	0.9953692	0.9953380	0.9953068	0.9952755	0.9952442
32	0.9950542	0.9950222	0.9949901	0.9949580	0.9949258
33	0.9947308	0.9946980	0.9946651	0.9946321	0.9945991
34	0.9943991	0.9943655	0.9943319	0.9942981	0.9942643
35	0.9940594	0.9940251	0.9939906	0.9939560	0.9939214

°C	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	0.9998995	0.9999053	0.9999109	0.9999163	0.9999216
1	0.9999494	0.9999534	0.9999573	0.9999610	0.9999645
2	0.9999821	0.9999844	0.9999866	0.9999887	0.9999905
3	0.9999981	0.9999988	0.9999994	0.9999998	1.0000000
4	0.9999979	0.9999970	0.9999960	0.9999947	0.9999934
5	0.9999819	0.9999795	0.9999769	0.9999741	0.9999712
6	0.9999506	0.9999467	0.9999426	0.9999384	0.9999340
7	0.9999046	0.9998992	0.9998936	0.9998879	0.9998821
8	0.9998442	0.9998374	0.9998305	0.9998234	0.9998162
9	0.9997699	0.9997617	0.9997534	0.9997450	0.9997364
10	0.9996820	0.9996724	0.9996627	0.9996529	0.9996428
11	0.9995803	0.9995694	0.9995585	0.9995473	0.9995361
12	0.9994660	0.9994538	0.9994415	0.9994291	0.9994166
13	0.9993391	0.9993258	0.9993123	0.9992987	0.9992850
14	0.9992003	0.9991858	0.9991711	0.9991564	0.9991415
15	0.9990497	0.9990340	0.9990182	0.9990023	0.9989862
16	0.9988876	0.9988707	0.9988538	0.9988367	0.9988195
17	0.9987141	0.9986961	0.9986781	0.9986599	0.9986416
18	0.9985295	0.9985105	0.9984913	0.9984720	0.9984526
19	0.9983341	0.9983140	0.9982937	0.9982733	0.9982529
20	0.9981280	0.9981068	0.9980855	0.9980641	0.9980426
21	0.9979114	0.9978892	0.9978669	0.9978444	0.9978219
22	0.9976846	0.9976613	0.9976380	0.9976145	0.9975910
23	0.9974477	0.9974235	0.9973991	0.9973747	0.9973502
24	0.9972010	0.9971758	0.9971505	0.9971250	0.9970995
25	0.9969445	0.9969184	0.9968921	0.9968657	0.9968393
26	0.9966786	0.9966515	0.9966243	0.9965970	0.9965696
27	0.9964033	0.9963753	0.9963472	0.9963190	0.9962907
28	0.9961190	0.9960901	0.9960610	0.9960319	0.9960027
29	0.9958257	0.9957958	0.9957659	0.9957359	0.9957059
30	0.9955235	0.9954928	0.9954620	0.9954312	0.9954002
31	0.9952127	0.9951812	0.9951495	0.9951178	0.9950861
32	0.9948935	0.9948612	0.9948286	0.9947961	0.9947635
33	0.9945660	0.9945328	0.9944995	0.9944661	0.9944327
34	0.9942303	0.9941963	0.9941622	0.9941280	0.9940938
35	0.9938867	0.9938518	0.9938170	0.9937820	0.9937470

Šią temą plačiau paliesime, kalbėdami apie ežero vandens chemizmą. Šiuo tarpu tik pažymėsime, kaip ežero vandens mineralingumas priklauso nuo ežero vandens pajamų ir išlaidų, nuo ežero vandens balanso. Aišku, kad lietus, sniegas ir kiti atmosferos krituliai gali ežero vandenį tik gėlinti, mažinti jame mineralinių medžiagų koncentraciją. Mineralinti ežero vandenį gali tik upių, upelių, šaltinių vandenys ir betarpiškai nuo tereno į ežerą nutekėję vandenys.

Imkime ežerą be nutekėjimo. Į tokį ežerą upės, upeliai, šaltiniai paduos tam tikrą kiekį ištirpusių mineralų, druskų. Vandens išlaidas sudarys tik išgaravimas. Gi druskos neišgaruoja ir niekas jų iš ežero neišneša. Tai mineralų, druskų kiekis jame didėja, labiau koncentruojasi, toks ežeras sūrėja.

Imkime ežerą su intakais ir ištaku ir sūriu vandeniu. Vanduo nutekėdamas išneša dalį druskų. Jei intakai jų mažiau paduoda, negu ištakas jų išneša, tai vanduo ežere darosi vis gėlesnis ir gėlesnis. Tokiu būdu daugelis jūrinės kilmės ežerų visai sugėlėjo.

Apskritai, jei ežeras turi nuolatinį nutekėjimą, tai jo vanduo gėlas; jei ežeras nuolatinio nutekėjimo neturi, o turi tik nenuolatinį ar visai jo neturi, tai ežero vanduo gali būti sūrokas arba ir visai sūrus.

Atkreiptinas dėmesys dar į šitą faktą: jei dėl garavimo ežero vandens masė sumažėja, tai masė pasidaro sūresnė, t. y. druskų koncentracija pasidaro didesnė. Išeina, kad po sausros ežero vanduo būna sūresnis, o po lietaus — daug gėlesnis.

Vanduo laikomas gėlu, jei jame ištirpusių druskų koncentracija ne didesnė kaip 0,3‰, sūriu — jei ta koncentracija didesnė kaip 24,695‰. Tarpinės koncentracijos vandenį daro apygėlį ar apysūrį. Okeano vandenyje druskų koncentracija būna maždaug 35‰ (35 promilių).

Pagal vandens sūrumą ar gėlumą žemės rutulio ežerai skirstomi į sūriuosius, arba druskinguosius, į apysūrius ir į gėluosius. Lietuvos ežerai visi skirtini prie gėlųjų.

Taip pat svarbūs vandens savumai — jo kietumas ir minkštumas. Vandens kietumas paprastai matuojamas vokiškais kietumo laipsniais. 1 laipsnį atitinka 10 g kalkių (CaO) kiekviename 1000-yje litrų vandens, arba 0,01 g/l. Nuo 1 ligi 8 laipsnių vanduo laikomas minkštu, nuo 8 ligi 12 — apykietu ar

kietoku, nuo 12 ligi 18 — gana kietu, nuo 18 ligi 30 — kietu, per 30 — labai kietu.

Be to, reikia kreipti dėmesį ir į vandenilio jonų koncentraciją,— į dydį pH, kuris gali svyruoti nuo 0 ligi 14. Jei kurios aplinkos pH lygus 7, tai tokia aplinka neutrali; jei mažesnis už 7 — rūgšti, o jei didesnis — šarminė. Rūgštingumas didėja 0 linkui, o šarmingumas — 14.

3. EŽERO HIDROLOGINIS BALANSAS

Kad ši tema būtų vaizdingesnė, palyginsime ežerą su prekybos ar gamybos įmone. Įmonės turi pajamų ir išlaidų, turi balansą. Taip ir ežeras turi vandens pajamų, turi vandens išlaidų, turi vandens balansą.

Nuo vandens pajamų ir išlaidų visų pirma priklauso ežero vandens pobūdis: jo gėlumas ar sūrumas, bendriau — mineralingumas, ir ežero paviršiaus lygio aukštumas ar žemumas, to lygio svyravimai.

Taigi teks pakalbėti apie ežero vandens pajamas ir išlaidas, apie tai, kaip ilgai vanduo išbūva ežere, pagaliau apie ežero paviršiaus lygio svyravimus,— apie to lygio pakilimą ir nusilūgimą,— ir apie tai, kaip tie svyravimai stebimi ir studijuojami. Ežerų lygio svyravimų stebėjimas ir studijavimas sudaro tam tikrą limnologijos skyrių *limnimetriją*.

a) Ežero vandens pajamos

Ežeras iš atmosferos vandenį gauna dviem keliais: tiesioginiu ir netiesioginiu. Tiesiogines ežero vandens pajamas sudaro atmosferiniai krituliai, tiesiai patenką į ežerą: lietus, sniegas, kruša, ledai ir susikondensavę virš ežero akvatorijos vandens garai, o netiesiogines pajamas sudaro vandenys, į ežerą patekę antžeminėmis ar požeminėmis srovėmis: iš upių, upelių, versmių, šaltinių.

Bendras ežero pajamų kiekis priklauso nuo ežero aplinkos, būtent:

1) nuo ežero baseino dydžio;

2) nuo to, koks yra absoliutinis ir reliatyvinis aplinkos atmosferos drėgnumas ar drėgmingumas; nuo absoliutinio atmosferos drėgnumo, t. y. nuo to, kiek gramų vandens garų yra viename kubiniame metre oro, priklauso kritulių kiekis, o nuo

reliatyvinio drėgnumo, t. y. nuo oro garais prisotinimo procento, priklauso kritulių dažnumas;

3) nuo oro temperatūros, kuri sąlygoja absoliutinį ir reliatyvinį oro drėgnumą; temperatūrai kritus, gali susikondensuoti garai ir iškristi krituliai;

4) nuo klimato apskritai; jei kur dažniau lyja, ten vanduo į ežerą pakliūva greitai; jei kur dažniau sninga, ten vanduo į ežerą pakliūva ne taip greitai, pakliūva tik sniegui ištirpus; aišku, kad labai reikšmingi yra metų laikai: žiemą ežeras mažiau vandens gauna negu vasarą; ypačiai daug vandens ežerai gauna pavasarį ir rudenį; šitai daugiausia liečia vidutinio klimato ežerus;

pagaliau 5) nuo baseino gruntų geologinių savumų,— nuo jų vandeniui laidumo ar nelaidumo.

Apskritai, manoma, kad vidutiniame klimate tik trečioji visų kritulių dalis patenka į upes; dvi trečiosios išgaruoja ir susigeria į žemę.

Čia didelę reikšmę turi ir baseino augalinė danga. Jei augalų gausu — garavimas didesnis, jei negausu — mažesnis. Manoma, kad augalai garavimo plotą padidina maždaug 500 kartų.

b) Ežero vandens išlaidos

Ežeras vandens netenka arba dėl išgaravimo, arba dėl nutekėjimo. Pačioje savo gyvavimo pradžioje ežeras vandens netekdavo dar ir dėl trečiosios priežasties: dėl vandens susigėrimo, arba filtracijos, į gruntą. Bet ilgainiui ši priežastis nušlojo reikšmės, nes gruntas vandens prisisotino. Todėl reikšmingomis reikia laikyti tik anas dvi, jau nurodytas priežastis: išgaravimą ir nutekėjimą. Bet ir susigėrimo į gruntą (ar tendencijos susigerti) negalima išleisti iš akių. Kai pakyla ežero vandens paviršiaus lygis, tai pakyla ir aplinkos gruntinių vandenų horizontas, nes ežero vandenys savo tendencija skverbti į gruntus filtraciją iš gruntų sulaiko. Ypačiai galingas tas ežero vandens skverbimasis būna į smėlingus gruntus vasarą. Sausą vasarą smėlingi gruntai daug vandens iš ežero paima. Vis dėlto, šiaip ar taip, dabartiniu metu filtracija iš gruntų į ežerą yra daug reikšmingesnė negu iš ežero į gruntus.

Išgaravimas. Pirmiausia atkreipsime dėmesį į sąlygą, kurią reikia patenkinti, kad vyktų ežero vandens garavimas.

Temperatūra, kurioje esantieji ore garai pasiekia prisotinimą, vadinama rasos tašku. Rasos taškas oro, susisiekiiančio su ežero paviršiumi, gali būti aukštesnis ir gali būti žemesnis už ežero vandens temperatūrą. Jeigu aukštesnis — vyksta garų kondensavimasis, o jeigu žemesnis — vyksta garavimas. Tai lengva suvokti įsivaizdavus, kad abiem atvejais vandens temperatūra lygi 15° , o rasos taškas oro, susisiekiiančio su ežero paviršiumi, vienu atveju 20° , o kitu 10° . Kadangi oro rasos taškas būna tai aukštesnis, tai žemesnis už ežero vandens temperatūrą, tai vyksta nuolatinė kondensacijos ir garavimo kaita, priklausomai nuo orų ir klimato.

Apie dydį garavimo, vykstančio ežero paviršiuje, kaip ir apie dydį garų kondensacijos, vykstančios virš ežero paviršiaus, sunku spręsti. Vis dėlto yra patirta, kad vidutiniame klimate, jei ežero paviršiaus plotas nedidelis, išgaruoja iš ežerų maždaug toks vandens sluoksnis, koks iškrito iš atmosferos. Drėgnuose kraštuose išgaruoja plonesnis vandens sluoksnis negu kritulių, sausuose storesnis. Taip manyti privertė stebėjimai. Išvadas iš jų galima laikyti gana tiksliais, jei ežero plotas nedidelis. Bet jeigu ežero plotas didelis, tai paprastai virš to ploto ore garų būna gana daug.

Nutėkėjimas. Nutėkėjimas gali vykti žemės paviršiuje ir po žeme. Žemės paviršiuje vanduo iš ežero nuteka paprastai vienoje, pačioje žemojoje, vietoje, retai dviejoje. Požeminio nutėkėjimo vietų gali būti ne viena.

Nutėkėjimo dydis labai priklauso nuo ežero lygio aukštumo ar žemumo. Kai tas lygis pakyla, tai pakyla ir vandens masės slėgimas, taigi padidėja ir nutėkėjimas. O kai ežero lygis nuslūgsta, tai vandens masės slėgimas sumažėja, — sumažėja ir nutėkėjimas. Kai ežero paviršiaus lygis labai pakyla, vanduo neretai iš ežero ima tekėti ne tik pro vieną kurią vietą, bet lietus per krantus apskritai, — ežeras patvinsta. Pasitaiko ir taip, kad ežero paviršiaus lygis tiek nuslūgsta, jog ežeras bent laikinai išnyksta. Tai visa priklauso nuo ežerų vandens pajamų ir išlaidų santykio, nuo ežero vandens balanso. Pajamos praneša išlaidas — ežero paviršiaus lygis kyla, išlaidos praneša pajamas — ežero lygis slūgsta. Pajamos atitinka išlaidas, ir atvirkščiai, ežero lygis stovi toje pačioje vietoje.

Įdomu, kad vandens pajamos skatina išlaidas, nes, pakilus ežero lygiui, padidėja vandens masių slėgimas, todėl ištakas

pasidaro veiklesnis. Intakų žiotis vandens pakilimas ežere veikia priešinga kryptimi.

c) Kaip ilgai vanduo išbūna ežere

Vandens ežere išbuvimas priklauso 1) nuo ežero tūrio ir 2) nuo ežero nutekėjimo.

Jei V — ežero tūris, išreikštas kubiniais metrais, V_s — kiekis vandens, nutekančio iš ežero per sekundę (taip pat kubiniais metrais), tai santykis $\frac{V}{V_s}$ duos t , t. y. laiką, kurį vanduo gali išbūti ežere:

$$t = \frac{V}{V_s}. \quad (30)$$

Konkretus pavyzdys: Ženevos ežero tūris $V = 88\,920$ milijonų m^3 ; vandens išteka kas sekundę vidutiniškai $252\,m^3$. Taigi vanduo Ženevos ežere išbūna maždaug 11,2 metų. Tik nereikia suprasti, kad kiekvienas, į ežerą pakliuvęs vandens lašas tiek laiko ten išbūna. Ne, dalis vandens nuteka ar išgaruoja gana greit, kita dalis išbūna daug ilgiau. Formulė duoda tik vidutinį laiko tarpą, kurį, apskritai imant, vanduo išbūna ežere.

Vandens išbuvimo ežere klausimas yra labai svarbus, nes to išbuvimo dėka susidaro ežero vanduo, kuris daug kuo skiriasi nuo upės vandens, nuo lietaus vandens, taip pat nuo pelkių, šaltinių, gruntinių vandenų.

Upių vandenys suteka į ežerą, bet tie vandenys ežere nepasilieka tokie, kokie buvo, jie pakinta. Pažymėsime tuos pakitimus.

1) Visų pirma ežere nusėda intako įneštos kietos dalelės. Į tolesnę ežero vandens masę pakliūva ištirpusių medžiagų dalelės.

2) Cheminės sudėties atžvilgiu upės vanduo taip pat pakinta: jis susimaišo su ežero vandeniu, kurio cheminė sudėtis ir jame ištirpusių medžiagų koncentracija gana pastovi ir viename ežere maždaug vienoda, nes ežero vandens masė nuolat juda, būna maišoma, ir tiek cheminė sudėtis, tiek druskų koncentracija išsilygina. Cheminė ežero vandens sudėtis tik šiek tiek svyruoja dėl vandens pajamų nelygumo, dėl metų laikų ir kt.

3) Panašiai, kaip cheminiu, upės vanduo pakinta ir termi-
niu atžvilgiu. Jis prisitaiko prie ežero vandens temperatūros.

Pagaliau 4). Upės vanduo įneša į ežerą gyvų organizmų,
bet ne visi tie organizmai gali ežere gyventi. Kurie neprisitaiko
prie ežero sąlygų, tie žūva, o kurie prisitaiko, tie išlieka ir
veisiasi, tapę ežero faunos ir floros dalimi.

Taip pat daug gyvų organizmų patenka iš ežero į upę, ten
prisitaiko ir gyvena, ar neprisitaiko ir žūva. Tarp upės ir ežero
vyksta, taip sakant, biologinis bendravimas.

d) Ežero hidrologinis balansas ir lygio svyravimai

Ežero lygio svyravimai priklauso nuo vandens pajamų ir iš-
laidų. Jei būtų tik pajamos, tai ežero paviršiaus lygis vis kiltų
ir kiltų, o jeigu būtų tik išlaidos, tai ežero paviršiaus lygis
slūgtų ir slūgtų, kolai dubuo visai ištuštėtų.

Susipažinsime su dviem vandens pajamas ir išlaidas lie-
čiančiom formulėm: 1) su formule, vaizduojančia ežero van-
denų balansą, ir 2) su formule, iš kurios išskaičiuojamas lygio
pakilimo ar nuslūgimo dydis.

1) Ežero vandens išlaidas per tam tikrą laiką ir pajamas
reikšime šiais simboliais:

k — tiesioginės pajamos iš kritulių;

x — pajamos iš intakų ir tiesiai iš apyežerio ar paežerės
(antžeminis pritekėjimas);

y — pajamos iš požemio (požeminis pritekėjimas);

z — pajamos iš vandens garų, susikondensavusių virš ežero
paviršiaus; į šią vandens pajamų poziciją dažnai ne-
kreipiama dėmesio, nes ši pozicija būna nežymi ir sun-
kiausiai apskaičiuojama;

x' — išlaidos dėl vandens antžeminio nutekėjimo;

y' — išlaidos dėl požeminio nutekėjimo;

z' — išlaidos dėl ežero vandens garavimo.

Simbolių reikšmę atsimenant, formulė

$$k + x + y + z = x' + y' + z' \quad (a)$$

reikštų vandens pajamų ir išlaidų pusiausvyrą. Bet šitokia

formulė ežero gyvenimui retai galioja. Paprastai galioja viena iš šių dviejų formulių:

$$k+x+y+z > x'+y'+z' \quad (b)$$

$$k+x+y+z < x'+y'+z', \quad (c)$$

t. y. pajamos būna didesnės ar mažesnės už išlaidas.

Visais trimis atvejais tarp vandens pajamų ir išlaidų susidaro skirtumas (saldo) ΔV (V — tūris), kuris pirmuoju atveju (a) bus lygus 0, antruoju (b) bus su pliusu ($+\Delta V$), o trečiuoju (c) — su minusu ($-\Delta V$). Aišku, kai tas skirtumas lygus 0, tai ežero lygis stovi toje pačioje vietoje, o kai ΔV nelygus 0 ir su pliusu, tai paviršiaus lygis būna pakilęs, o kai su minusu — nuslūgęs. Neigiamasis saldo ($-\Delta V$) reiškia, kad buvo vandens imama iš vandens atsargų.

Anas tris formules galima sutraukti į vieną:

$$k+x-x'+y-y'+z-z' = \pm \Delta V. \quad (31)$$

Ežerams be antžeminio nutekėjimo iškris dydis x' .

Ežerams, iš kurių vanduo kuriems nors reikalams imamas, prisidės dar dydis — u , lygus paimto vandens kiekiui.

Iš formulės (31) aiškiai matyti, kad ežero paviršiaus lygio svyravimas yra labai sudėtingas reiškinys, nes, pakitus bet kuriam algebrinės sumos dėmeniui (k, x, x', y, y', z, z'), kinta V (ežero vandens tūris) ir ΔV , t. y. kyla ar slūgsta ežero paviršiaus lygis. Be to, gali kisti keli dėmenys ar visi kartu.

*

E. V. B l i z n i a k a s vartoja kitokią simboliką ir ežero vandens balansą reiškia tokiomis formulėmis:

a) Kai ežero vandens lygis nekinta, nekyla ir neslūgsta, t. y. kai ežero vandens tūris pasilieka didumo toks pat:

$$x+c+Q+q=z+p+R+r+U.$$

b) Kai ežero vandens lygis kinta, kyla ar slūgsta, t. y. kai ežero vandens tūris didumo atžvilgiu nepasilieka toks pat:

$$x+c+Q+q=z+p+R+r+U \pm \Delta V.$$

Formulėse simbolių reikšmė tokia:

x — atmosferos krituliai, iškritę ant ežero veido (akvatorijos);

c — vandens garų kondensacija virš ežero paviršiaus;

Q — antžeminis vandens pritekėjimas iš aplinkos;

q — požeminis vandens pritekėjimas.

Iki šiolei vis buvo turima reikalo su vandens pajamomis; toliau eis išlaidų simboliai:

z — išgaravimas nuo ežero paviršiaus;

p — vandens dalelės, išneštos vėjo;

R — antžeminis vandens nutekėjimas;

r — požeminis vandens nutekėjimas;

U — vanduo, suvartotas liaudies ūkio reikalams (melioracijai ir kitiems).

Taigi E. V. Blizniako balanse figūruoja viena nauja išlaidų pozicija p , į kurią mes neatsižvelgėme, nes ją sunku apskaičiuoti ir ji paprastai būna nežymi.

*

Idomu ir būtina sužinoti ežero lygio aukščio pakitimą h (metrais) per t sekundžių. Ežero lygio aukščio pakitimas skaičiuojamas iš tokios formulės:

$$h = \frac{\Delta V}{a_0 \cdot 10\,000} t, \quad (32)$$

kur ΔV — vandens pajamų ir išlaidų skirtumas per sekundę (kubiniais metrais) ir a_0 — ežero paviršiaus plotas (hektarais). Hektaras — 10 000 m², dėl to a_0 dauginamas iš 10 000.

Šiam reikalui galima panaudoti formulę ir tokio pavidalo:

$$h = \frac{V_p - V_i}{a_0 \cdot 1\,000\,000} t, \quad (33)$$

kur V_p ir V_i atitinkamai reiškia vandens pajamas ir išlaidas per sekundę kubiniais metrais ($V_p - V_i = \Delta V$), a_0 — ežero plotą km², t — laiką sekundėmis ir h — aukščio pakitimą metrais. Kvadratiniam kilometre 1 000 000 m²; dėl to a_0 ir dauginamas iš 1 000 000.

Ežere paviršiaus lygio svyravimų būna įvairių rūšių: paros svyravimų, metinių, ciklinių.

Sniegas, ledas sparčiau tirpsta dieną negu naktį, dėl to sniegynai, ledynai (gletčeriai) daugiau paduoda upėms vandens dieną negu naktį, o tos savo ruožtu ežerams. Bet tas vanduo paskleidžiamas po didelį plotą, tai pakilimas gaunamas nežymus, ir svyravimas susidaro nedidelis.

Daug reikšmingesni metiniai svyravimai. Juk svarbiausias veiksnys, sukėliąs ežero lygio svyravimus, yra krituliai, kurių vanduo tiesiogiai ir netiesiogiai pasiekia ežerą. Bet krituliai metų laikais iškrinta nevienodai; be to, žiemą sniego pavidalu, o ne lietaus, kaip pavasarį, vasarą ir rudenį. Dėl to mažiausiai ežerai vandens gauna žiemą, daugiausia pavasarį, sniegui ėmus tirpti; be to, pavasarį, vasarą ir rudenį po lietų. Sausrų metu ežero lygis slūgsta.

Šitai visa sakydami, turime omenyje vidutinio klimato ežerus. Karšto klimato ežerų lygis pakyla lietų periodu ir nuslūgsta sausrų metu. O poliarinio klimato ežerų lygis žiemą būna žemesnis, o vasarą aukštesnis, nes vasarą tirpsta sniegas ir ledai.

Pagaliau, būna metų lietingesnių ar, tiksliau sakant, kritulingesnių, ir būna metų mažiau kritulingų. Aišku, kritulingesniais metais ežero lygis bus labiau pakilęs, o ne tokiais kritulingais bus mažiau pakilęs. Tai kaip tik sudaro labai netaisyklingus ciklinius ežero lygio svyravimus.

e) Limnimetrija

Limnimetrija yra tas ežerotyros skyrius, kuris domisi ežero paviršiaus lygio būviu, jo svyravimais. Tai svarbu, nes galima numatyti ežerų potvynius, o didelis ežero lygio nuslūgimas neretai kliudo laivininkystei. Be to, žvejams taip pat ne vis tiek, ar ežero lygis aukštas ar žemas. Ežero lygio svyravimais domisi taip pat meteorologai ir klimatologai. Limnimetrijai reikia instrumentų ir skaičiavimų. Paprasčiausias iš tokių instrumentų yra vadinamasis futštokas su tiksliais padalijimais. Futštoko nulis turi būti tiksliai suderintas su pastoviu reperiu, kad, futštokui sugedus, būtų galima naują futštoką nustatyti tuo pačiu aukščiu. Tam pačiam tikslui, kaip futštokas, vartojamas limnimetras su plūde. Limnimetras laikomas kasime (šachtoje), susisiekiiančiame su ežeru. Plūdės rodiklis rodo, kiek vanduo pakilęs ar nuslūgęs. Esama limnimetrų su

automatiniais rašikliais. Tokius limnimetrus vadina limnigrafais. Limnigrafo rašiklis automatiškai popieriuje pažymi ežero lygio svyravimus: plūdė kyla — ir rašiklis kyla, plūdė leidžiasi — ir rašiklis leidžiasi, brėždamas besisukančiame popieriuje bruožą.

Svarbu pastebėti aukščiausią, arba maksimalinį, ežero lygį metuose ir žemiausią, arba minimalinį. Antrąjį lygį iš pirmojo atėmus, gaunama metinė amplitudė.

Pažymėjus maksimalinius ir minimalinius ežero lygius per keletą metų, galima išskaičiuoti jų vidurkius. Tuos vidurkius vieną iš kito atėmus, gaunama vidutinė metinė svyravimo amplitudė.

*

Visus limnimetrinius dydžius reikia išmatuoti ir išskaičiuoti kuo tiksliausiai. Pats limnigrafas turi būti labai jautrus, kitaip — jis klaidins: pavyzdžiui, limnogramos paros bruožas bus lygus, nors iš tikrųjų toks neturėtų būti, nes ežero paviršiaus lygis paros būvyje svyravo.

Be to, ežerą limnimetriškai stebint, neužtenka stebėti vien lygio svyravimus, bet reikia kreipti dėmesį ir į tas priežastis, kurios svyravimus sukelia, — į dydžius k , x ir x' , y ir y' , z ir z' , nepamirštant vėjo krypties ir greičio.

Dydį k , rodantį, kiek ant ežero prilijo ar prisnigo, nesunku išskaičiuoti, turint meteorologinius duomenis ir žinant ežero plotą.

Duomenys x ir x' , t. y. įtekėjusio ir ištekėjusio vandens kiekis, sužinomi būdais, nurodomais tam tikros hidrologijos šakos — hidrometrijos.

Labai sunku nustatyti dydžius y ir y' , t. y. vandens iš požemio pajamų ir išlaidų dydį.

Kad sunku apskaičiuoti dydį z , t. y. vandens pajamas dėl garų kondensacijos virš ežero paviršiaus, jau esame nurodę.

B. D. Z a i k o v a s, stebėdamas dydį z' , t. y. garavimą iš nedidelių vandens telkinių (ligi 100 ha paviršiaus ploto), nustatė, kad tundroje vidutiniškai per metus išgaruoja 25—35 cm, miškų zonoje — 35—65 cm, stepių zonoje — 65—100 cm, pusdykumėse ir dykumose — 100—170 cm.

Ežero vandens tūrio pakitimo dydį ΔV galima nustatyti iš batigrafinės kreivės, naudojantis duomenimis apie lygio svyravimus.

II. EŽERO HIDROMECHANIKA

Hidromechanika — tai mechanikos šaka, tirianti skysčių pusiausvyros ir judėjimo dėsnius, šiuo atveju — ežero vandens pusiausvyros ir judėjimo dėsnius.

Mums teks kalbėti apie ežero vandens masės hidrostatinį slėgimą, apie ežero paviršių ir jo deniveliacijas, apie ežero bangas, seišas, apie ežero vibraciją, pagaliau apie ežero sroves.

1. EŽERO STATIKA IR DINAMIKA

a) Vandens masės hidrostatinis slėgimas

Dugno ploto vienetą slėgia vandens stulpas nuo dugno ligi vandens paviršiaus. To slėgimo dydis išreiškiamas atmosferomis. Viena atmosfera — tai slėgimas 1 033 gramų į 1 kvadratinį kūno paviršiaus centimetrą, arba slėgimas jūros lygyje į 1 kvadratinį centimetrą 10,33 metrų aukščio ir 1 cm² piūvio stulpelio destiliuoto vandens, kurio $t^{\circ}=4^{\circ}\text{C}$. Reikia prisiminti, kad vanduo labai sunkiai leidžiasi suslegiamas, tai jo tankis ρ nuo slėgimo labai mažai pakinta, taigi į vandens tankio pakitimus dėl slėgimo galima nekreipti dėmesio. Pavyzdžiui, Ženevos ežere 300 metrų gylyje, kur vanduo suslėgtas 30 atmosferų, jis taip mažai sutankėjęs, jog jo stulpelio aukštis, atitinkąs 1 atmosferą, siekia 10,31 metro ($t^{\circ}=4^{\circ}\text{C}$), t. y. tas stulpelis 2 cm žemesnis negu normalus, — prie ežero paviršiaus. Prie Baikalo ežero dugno, vietose, kur vanduo suslėgtas 137 atmosferų, vandens stulpelio, atitinkančio vieną atmosferą, aukštis siekia 10,26 m.

Lietuvoje didžiausias ežero (Tauragnų) gylis — 60,5 m. Tai prie dugno vanduo suslėgtas maždaug šešiomis atmosferomis. Taigi vandens tankis bus visai mažai dėl slėgimo padidėjęs. Apie mažiau gilių ežerų vandens tankio padidėjimą dėl hidrostatinio slėgimo nėra ką ir kalbėti. Svarbiausias veiksnys, kurs veikia vandens tankį, yra ne hidrostatinis slėgimas, o vandens temperatūra (žr. 6 lentelę), o taip pat mineralingumas.

b) Ežero paviršiaus pavidalas

Nesiekdami didelio tikslumo, žemę laikysime sferoidu, o ežero paviršių — to sferoido segmento paviršiumi. Lygiatūrio rutulio spindulys — 6371,1 km. Taigi nedidelių, o ypač vi-

sai mažų ežerų paviršių galima laikyti tiesiog plokštuma. Kreivumo skirtumai įvairiuose žemės paviršiaus plokčiuose labai nežymūs. Arti pusiaujo kreivumas didesnis, poliarinėse srityse jis mažesnis. Apskritai, tas kreivumas labai mažas ir į jo skirtumus galima nekreipti dėmesio. Aukštis lanko, kurį gauname, kirsdami ežero paviršių plokštuma, būna toks:

jei lankas 100 m ilgio		0,2 mm
„ „ 1 km „		1,9 cm
„ „ 10 km „		1,9 m

Ežero krantai, dėl visuotinės traukos ežero vandenį į save traukdami, taip pat ežero paviršių šiek tiek deformuoja, bet taip nežymiai, jog tai praktinės reikšmės neturi.

c) Ežero paviršiaus deniveliacijos

Normalią ežero paviršiaus formą sudaro žemės sferoido arba tiesiog rutulio segmento paviršius. Bet ši normali ežero paviršiaus forma tolydžio dėl įvairių priežasčių pakinta. Normalios ežero paviršiaus formos pakitimai vadinami deniveliacijomis. Deniveliacijų esama nuolatinų ir laikinų.

Nuolatinės deniveliacijos. Daugelis faktorių, kurie labai žymiai veikia jūros paviršių, mažai paliečia ežero paviršių. Imkime, pavyzdžiui, faktorius, kurie sukelia potvynius ir atoslūgius. Jų poveikis į ežerų paviršių labai nežymus, — toks nežymus, jog neišsimoka apie jį ir kalbėti, lygiai kaip apie deniveliacijas dėl srovių ežere ar dėl įvairios ežero vandens cheminės sudėties. Tačiau sūriuosiuose ežeruose tankio skirtumas tarp sunkaus ežero vandens ir lengvo intakų vandens gali būti nuolatinų pastebimų ežero paviršiaus deniveliacijų priežastimi.

Specialiai pastebėtinas šis reiškinys: vandens paviršius prie ežero intakų žiočių yra aukštesnis negu prie ištako pradžios; be to, ežero paviršius prie intakų žiočių panašus į konusą su išgaubtu paviršiumi ir viršūne intako žiotyse, o ežero paviršius prie ištako pradžios turi pavidalą taip pat konuso, tik įgaubto ir jo viršūnė yra ištako pradžioje. Šie faktai verčia vandenį tekėti nuo intakų žiočių ištako pradžios linkui, nors paprastai tas tekėjimas būna beveik nepastebimas. Ar šiaip ar taip, vanduo svyra nuo intakų žiočių ištako pradžios linkui.

Laikinosios deniveliacijos. Laikinosios deniveliacijos gali būti neritminės ir ritminės.

Neritminių deniveliacijų priežastimi paprastai būna vėjas. Vėjas varo vandenį nuo vieno kranto į kitą, vienur vandens paviršių daro žemesnį, kitur aukštesnį, jį deformuoja, deniveliuoja, sudaro nuotvankas ir patvankas. Ši deniveliacija, vėjui stiprėjant, didėja, o vėjui silpnėjant, mažėja. Vėjui nutilus, po kiek laiko deniveliacija išnyksta, vandens paviršius vėl įgauna normalią formą. Juo ežeras didesnis, tuo didesnė gali būti ir vėjo sukelta deniveliacija. Vis dėlto ji nebūna labai didelė. Pavyzdžiui, Ženevos ežere ji siekia ligi 12 centimetrų.

Ritminės deniveliacijas sudaro bangos, kurios gali būti dvejopos: slenkančios bangos, kurios liečia tik paviršutinius vandens sluoksnius, ir stovinčios bangos, kurios liečia visą ežero vandens masę. Pastarosios bangos vadinamos seišomis.

d) Ežero bangavimas

Slenkančios bangos. Bangų mokslas sudaro didelį fizikos skyrių. Mes čia paliesime tik kai ką, vieną kitą dalyką.

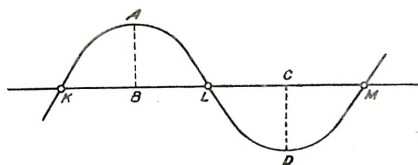
Bangas, plintančias ratu, sukelia į vandenį įkritęs ar įmestas, apskritai, į vandens paviršių sudavęs smūgį kuris nors daiktas. Tokį smūgį, tiksliau sakant, daugybę tokių smūgių į ežero paviršių paprastai suduoda vėjas, ir jis sukelia bangas, slenkančias vėjo kryptimi. Tokios vėjo sukeltos bangos atsimuša į priešingą krantą ir jį veikia, ardo. Žinoma, didesnis vėjas — didesnės ir bangos, mažesnis vėjas — mažesnės bangos. Mažas vėjelis sukelia tik ribulius. Užtat didelis vėjas sukelia gana dideles bangas. Aišku, čia reikšmės turi ežero plotas ir gylis. Jei ežero plotas didelis, tai vėjas turi kur, taip saktant, įsibėgėti, parodyti savo galią; o jei ežeras gilus, jis gali paliesti storesnį vandens sluoksnį. Vis dėlto vėjas išjudinti visą gilesnių ežerų vandens masę nepajėgia. Vėjo įtaka paliečia tik viršutinį, plonesnį ar storesnį, ežero vandens sluoksnį.

*

Iš bangų elementų atkreipsime dėmesį tik į bangos aukštį h , į bangos ilgį λ ir į sklidimo greitį v . Kitus elementus — dalelės orbitos spindulį q , bangos periodą T — paliksime nuosalyje.

Bangos ilgį λ sudaro ramiojo paviršiaus tarpas, į kurį telpa vienas pakilimas (gūbrys) ir vienas įdubimas (klonis), 43 pav. $h=AB+CD$, o $\lambda=KL+LM=KM$. Viena atkarpa AB ar DC vadinama bangos amplitude.

Bangos h ir λ surandama iš tam tikrų empirinių formulių, kuriose ω — vėjo greitis (m/sek), L — vėjo įbėgis (kilometrais), t. y. didžiausias nuotolis nuo imamo punkto ligi pavėjinio kranto, H — ežero gylis (m). Praktika parodė, kad geriausius rezultatus duoda šios formulės:



43 pav. Bangos schema

Andrejanovo:

$$h=0,0208 \sqrt[4]{\omega^5} \sqrt[3]{L}, \quad (34)$$

$$\lambda=0,304 \omega \sqrt{L}; \quad (34a)$$

Djakovos:

$$h=0,0186 \omega^{0,71} L^{0,24} H^{0,54}, \quad (35)$$

Šišovo:

$$h=0,0151 H^{0,34} \omega L^{0,33}, \quad (36)$$

$$\lambda=0,104 H^{0,57} \omega L^{0,33}. \quad (36a)$$

Rečiau šiuo metu taikomos Stivensono formulės:

$$h=0,33 \sqrt{L}, \text{ kai } L>60 \text{ km}; \quad (37)$$

$$h=0,33 \sqrt{L} + 0,76 - 0,26 \sqrt[4]{L}, \quad (37a)$$

kai $L<60$ km. Kai $L<1$ km, formulė netaikoma.

*

Bangos sklidimo greitį v (m/sek) dideliuose ežeruose suranda iš tokios formulės:

$$v=6,9 \sqrt[4]{\omega} \quad (38)$$

Bangavimas — labai sudėtingas reiškinys. Mat, vėjas pučia netolygiai, turbulentiškai, bangas sukelia įvairiomis kryptimis, tai bangų aukštis dėl interferencijos čia padidėja, čia sumažėja. Pastovios krypties vėjas vandenį labai įsiūbuoja, sukelia

aukštas bangas. Vėjui nutilus, ežero paviršius kurį laiką banguoja iš inercijos. Tas bangavimas iš lėto silpnėja ir silpnėja, pagaliau visai nusilpsta.

Šį skyrelį baigsime konkrečiais duomenimis: Ženevos ežere bangų sklidimo greitis v siekia ligi 7,8 m per sekundę, o didžiausias gylis, kur buvo pastebėtas bangų poveikis į smulkų smėlį, siekia ligi 9 m nuo ežero paviršiaus lygio.

Stovinčios bangos,— seišos; ežero vibracija. Šios rūšies bangos paliečia visą mažo ar didelio ežero vandens masę, o ne tik paviršinius sluoksnius.

Kad lengviau suprastume seišų esmę, įsivaizduosime dalbą, per vidurį pakabintą. Tokia dalba dėl abiejų pečių vienasvoriškumo laikysis horizontaliai. Bet jei kas vieną iš galų paspaustų, tai kitas galas iškiltų. Panašiai atsitinka ir ežere.

Sakykime, kad ežere nusistoję pusiausvyra. Bet ėmė kuri nors ežero paviršiaus plotą kuris nors veiksnys ir prislėgė, paspaudė ir čia pat atleido. Aišku, kad ežero pusiausvyra turėjo sutrikti ir tai turėjo, vaizdingai sakant, pajusti visa ežero vandens masė ar bent didelė jos dalis. Ežero vandens masė ėmė svyruoti, siūbuoti, suptis.

Kurios gi priežastys gali ežero pusiausvyrą sutrikdyti, sukelti stovinčias bangas, seišas?

Tokių priežasčių esama ne vienos: staigus atmosferos slėgimo kurioje nors ežero paviršiaus dalyje pakitimas,— padidėjimas ar sumažėjimas,— sparčiai nusileidusio nuo kalnų vėjo smūgis į kurią nors ežero paviršiaus dalį, didelė liūtis kurioje nors ežero paviršiaus vietoje ir kt.

Kaip svarbu nustatyti slenkamųjų bangų aukštį h , taip svarbu nustatyti stovimųųjų bangų periodą T , nes čia turime reikalo su didelėmis vandens masėmis, labai svarbu žinoti, kaip tos masės juda: smarkiai ar lėtai. Stovimosios bangos periodas T surandamas iš šios formulės:

$$T = \frac{2l}{\sqrt{gh}}, \quad (39)$$

kur T — laikas, l — indo ašies ilgis metrais, g — svorio jėgos pagreitis ir h — indo gylis metrais. Sakoma „indo“, nes ši formulė sudaryta eksperimentiniu būdu.

Seišos pasireiškia tada, kai ežero vandens lygis kurioje nors paviršiaus vietoje dėl kurios nors priežasties nuslūgsta ar pa-

kyla. Tai priežasčiai, ar jėgai, nustojus veikus, vanduo iš inercijos vis dar supasi, siūbuoja, jo dalelės svyruoja, besistengdamos vėl atstatyti pusiausvyrą. Svyravimai pamažu užgęsta dėl trinties.

Bet ir seišos metu būna vienas ar keletas taškų (ar linijų), kur paviršiaus lygis lieka nepakitęs.

Iš 44 pav. matyti, kada susidaro vienmazgė seiša ir kada dvimazgė. Jei, pvz., atmosferos slėgimas staiga sumažėja ežero periferijoje, tai susidaro vienmazgė seiša, o jei ežero centre, tai dvimazgė. Dažniausios vienmazgės seišos. Seišos dideliuose, giliuose vandenyse būna gana patvarios. Žinoma, didelę vandens masę sunku įsiūbuoti, bet įsiūbuotą sunkiau ir sustabdyti (žr. 94 psl.).



44 pav. Vienmazgės (A) ir dvimazgės (B) seišos susidarymas

Daugiamazgės seišos periodo formulė tokia pat kaip ir vienmazgės seišos atveju, tik vardiklyje pažymimas mazgų skaičius, būtent:

$$T = \frac{2l}{n\sqrt{gh}}. \quad (39a)$$

Taip vienmazgės, taip daugiamazgės seišos atveju radikalas $\sqrt{gh}$ reiškia bangos kilimo ar slūgimo greitį.

Pagaliau pažvelgsime į keletą konkrečių duomenų. Pati ilgoji seišų serija buvo stebima Ženevos ežere. Čia per $7\frac{1}{2}$ paros užregistruoti 147 svyravimai. Periodas — 73 minutės. Svyravimų aukštis palaipsniui mažėjo: nuo 20 cm ligi 7 cm. 1841 m. seišų amplitudė siekė beveik 2 m. Priežastis — atmosferos slėgimas per pusvalandį pakito 6 mm.

Pastebėtas glaudus sąsąjys seišų su audromis.

Ežere tuo pačiu metu gali būti seišinių svyravimų dviejų rūšių: skersinių ir išilginių. Vanduo gali siūbuoti aukštyn-žemyn ir į šonus, — vertikaliai ir horizontaliai. Tat šį ežero gyvenimo reiškinį daro dar sudėtingesnį.

Kai kada ežerą vaizduojamės pusiausvyros būvyje, bet iš tikrųjų ežeras niekad tokiam būvyje neesti: jis nuolatots virpa, vibruoja. Priežastys tos pačios, kur sukelia slenkamąsias ir stovimąsias bangas: vėjas ir kt. Tokia priežastimi, verčiančia ežerą vibruoti, gali būti ir garlaivis, net valtis.

e) Srovės ežere

Srovės ežere būna palyginti lėtos, dėl to ežero vanduo paprastai vaizduojamasi stovinčiu. Srovių ežere esama trijų rūšių: nuotėkio, dinaminių priežasčių sukeltų ir hidrostatiinių priežasčių sukeltų.

Nuotėkio, arba nuotėkinės, srovės. Jei į ežerą upė įteka ir iš jo išteka, tai aišku, kad ežere tarp intako žiočių ir ištako pradžios turi susidaryti srovė, ne tik ežero paviršiaus konusinė deniveliacija. Mažuose ežeruose tokia srovė



a



b

45 pav. Vėjo sukelta cirkuliacija:

a — vienlinka, b — dvilinka

lengviau pastebima negu dideliuose. Dideliuose ežeruose ji lengvai pastebima tik prie intako žiočių ir prie ištako pradžios.

Srovės, sukeltos dinaminių priežasčių,—tai vėjo ir seišų sukeltos srovės.

Įsivaizduokime, kad vėjas pučia vis ta pačia kryptimi ir varo vandenį į priekį. Vėjo dėka susidaro srovė prie ežero paviršiaus. Prie ežero dugno susidaro priešingos krypties kompensacinė srovė,—susidaro ežero vandens cirkuliacija, kai kada net dvilinka

(45 pav.).

Tokį vaizdą, kaip 45 pav., ežero vandens cirkuliacija turėtų, jei vandens temperatūra būtų visur vienoda. Kadangi ta temperatūra nevienoda, tai vandens cirkuliacija vyksta viršutiniuose sluoksniuose. Betgi pagrindinė jos tendencija — užgriebti gilesnius vandens sluoksnius.

Santykį vėjo sukeltos srovės greičio v su vėjo greičiu w vadina vėjo koeficientu a :

$$a = \frac{v}{w} . \quad (40)$$

Seišų sukeltos srovės paprastai būna labai silpnos, sunkiai konstatuojamos. Jų esama taip pat dviejų krypčių: tiesioginės ir jai atvirkščios.

Iš hidrostatinių veiksnių, srovės sukeliančių, reikia laikyti ežero vandens specifinio svorio nevienodumą. Sakykime, kad į ežerą upė paduoda gėlą vandenį, o šaltinis sūrų. Gėlo ir sūraus vandens specifiniai svoriai skirtingi: sūrus vanduo už gėlą sunkesnis. Dėl to skirtingumo turi susidaryti srovė. Galimas ir atvirkščias pavyzdys: į sūrų ežerą gali prasiųsti gėlas šaltinis.

Tačiau ne vien dėl druskų koncentracijos ežero vandens specifinis svoris būna nevienodas. Tą nevienodumą gali sudaryti ir dumblas, intako nešamas, ir nuo kranto bangų atplėštos medžiagų dalelės.

Gal prie srovių, hidrostatinių priežasčių sukeltų, reiktų priskirti ir vadinamąsias termines sroves, nes temperatūra veikia vandens tankį. Šios srovės sunkiai pastebimos, vis dėlto jos — neabejotinas faktas. Jei žemesnio vandens sluoksnio temperatūra aukštesnė, tai ir nedidelis temperatūros skirtumas sukelia konvekciją: aukštesniojo sluoksnio vanduo leidžiasi žemyn, o žemesniojo kyla aukštyn.

Srovės ežeruose, palygintos su okeanų srovėmis, atrodo labai mažos, labai silpnos, vis tiek ar šiokios, ar tokios jos kilmės: nuotėkinės, dinaminės, hidrostatinės ar terminės. Daugeliu atvejų ežerų srovės netaisyklingos ir sunkiai duodasi apibūdinamos.

2. EŽERO VANDENŲ PASTOVUMAS IR SĄMAIŠA

a) Vandenių pastovumo ir sąmaišos esmė bei reikšmė

Kad vanduo ežere judėtų, vėjas ar kitas kurs nors veiksnys turi vandens svorį paveikti. Nustojus tiems veiksniams veikus, ežero vanduo stengiasi atgauti vėl pusiausvyrą. Ežero vandens masė visokiems poveikiams priešinasi: lengvai jiems nepasiduoda, o pasidavusi vėl skuba nusistoti ir stovėti, būti tikrai stovinčio vandens mase. Žodžiu, ežero vandens masė stengiasi būti pastovi. Pastovumas yra lyg įgimtas jos savumas.

Susidaro gražus vaizdas. Tarp ežero vandens masės ir įvairių veiksnių vyksta lyg kova, imtynės: veiksniai stengiasi ežero vandenį iš pusiausvyros išvartyti, o patys vandenys iš savo pusės stengiasi nepasiduoti; iš pusiausvyros išvartyti, stengiasi ją vėl atgauti.

Aišku, kad jėgos, judindamos vandens masę, atlieka tam tikrą darbą. To darbo pasekmė — ežero vandenų sąmaiša, t. y. vandens dalių ir dalelių abipusis perėjimas iš vieno vandens sluoksnio į kitą. Tai neapsakomai svarbus reiškinys, nes, vykstant abipusiam vandens dalių ir dalelių perėjimui iš vieno vandens sluoksnio į kitą, drauge pernešama ir šiluma, ir dujos, net planktonas. Dėl sąmaišos paviršinių vandenų gauta iš saulės šiluma gali pasiekti dugną. Dėl sąmaišos vanduo ežere vienodėja, nelygumai jame išsilygina, ypačiai temperatūriniai ir dujiniai nelygumai. Sąmaiša sąlygoja organizmų egzistenciją ežere — tiek jo vandens masėje, tiek dugne.

Pavasarij ir rudenį ežeruose paprastai įsigali homotermija, t. y. visoje ežero vandens masėje būna vienoda temperatūra. Pavasarij ir rudenį ežero vandenys kaip tik labiausiai maišomi ir vėdinami, aprūpinami deguonimi.

Sąmaišą ir priešinimąsi užsienyje tyrinėjo vakarų Europoje V. Šmidtas ir Amerikoje B. A. Berdžas, o Tarybų Sąjungoje — S. D. Muraveiskis. Itin nuosekliai šiuos klausimus nušvietė B. D. Zaikovas ir B. B. Bogoslovskis. Visų jų tyrinėjimai turi daugiausia teorinį pobūdį. Visi jie naudojami nežemu matematiniu, — analiziniu ir grafiniu, — aparatu.

Sąmaišą taip pat tyrinėjo okeanologai, iš kurių pažymėtinas N. N. Zubovas. Bet ežerotyroje šis klausimas daug pairesnis, nes tenka skaitytis su ežero dubens ir jo dalių forma.

Apskritai, sąmaiša nors labai reikšmingas ežero gyvenime reiškinys, bet dėl jo sudėtingumo tyrinėtas dar mažai.

Nustatytos šios sąmaišos rūšys: turbulentinė, arba sūkurinė, sąmaiša ir difuzinė, arba molekulinė. Turbulentinė sąmaiša gali būti konvekcinė, dinaminė ir tvarkingoji.

N. N. Zubovas sąmaišą skaido į molekulinę ir moliarinę. Molekulinės sąmaišos atveju iš sluoksnio į sluoksnį pereina (difunduoja) vandens molekulės (vyksta molekulinė difuzija), o moliarinės sąmaišos atveju iš sluoksnio į sluoksnį pereina didesnės ar mažesnės vandens masės. Zubovo moliarinė sąmaiša sutampa su turbulentine sąmaiša.

Moliarinę sąmaišą Zubovas dar skaido į konvekcinę ir frikcinę. Pirmoji vyksta esant viršutinių sluoksnių tan-

kiui didesniai už apatinių, o antroji vyksta dėl judančių vandens sluoksnių trynimosi.

Viena svarbiausių ežero vandens judėjimo (bangavimo, tekėjimo ir kt.) priežasčių tenka laikyti vėją. Taigi literatūroje neretai kalbama ir apie vėjo, arba vėjinę, sąmaišą.

b) Izopaviršiai ir charakteristikų gradientai

Ežero ar okeano vandens temperatūra, tankis, druskingumas, dujų tirpumas, biomasės tankis, srovių tekėjimo greičiai — tai vis limnologinės ar okeanologinės charakteristikos. Jei šios charakteristikos visoje vandens masėje vienodos, tai masė vienaalytė, homogeninė. Bet vandens homogeniškumas ežero gyvenime yra palyginti retas atvejis, o apskritai imant, ežero vandens masė nehomogeniška, t. y. įvairiuose vandens masės taškuose yra skirtingos temperatūros, tankio ir kitų charakteristikų reikšmės. Ir tame pačiame taške įvairiais momentais tos reikšmės būna įvairios. Todėl ežero vandens masės svorio centras lyg supasi: tai kyla aukšty, tai leidžiasi žemyn. Sąmaišai vykstant, charakteristikų reikšmės išsilygina, ir jos vienodos pasiliktu, jei nesikeistų vandens masės šiluminės ir dinaminės sąlygos. Toms sąlygoms kintant, turi kisti ir vandens masės charakteristikos, jų reikšmės. Jei vandens masė buvo homogeniška, tai darosi nehomogeniška, ir atvirkščiai.

Meteorologas B j e r k n e s a s, siekdamas palengvinti masių terminų ir dinaminių sąlygų tyrinėjimą, panaudojo izobarinių, izopikninių, izoterminių,— vienu žodžiu, i z o p a v i r š i ų sąvokas. Paviršius vadinasi izobarinis, kai to paviršiaus bet kuriame taške slėgis yra pastovus. Vienodo tankio taškų paviršius vadinasi izopikninis, o pastovios temperatūros taškų paviršius — izotermis.

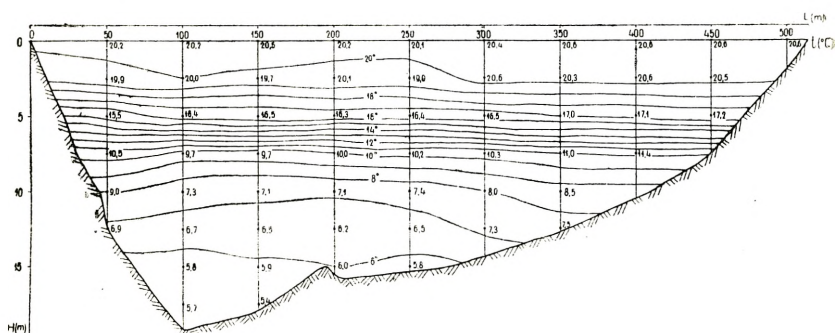
Nesunku suvokti, kad teoriškai, pavyzdžiui, izoterminių paviršių galima gauti vandens masėje kiek norima ir didžiausio gylio ribose bet kuriuo atstumu vieną nuo kito. Tą patį galima pakartoti ir apie kitus izopaviršius. Tie paviršiai gali būti įvairios formos ir Lietuvos ežeruose jie gali būti net uždari. Jų padėtis dėl šiluminių ir dinaminių sąlygų kitimo yra nepastovi. Todėl, nagrinėjant izopaviršių padėčių kitimą laiko tarpe, tenka dar pasirinkti pastovų paviršių, į kurią atsižvelgiant būtų galima stebėti, kaip kinta izopaviršių padėtys. Tokiu pastoviu

paviršiumi paprastai pasirenkamas ežero paviršius, kai visoje ežero vandens masėje yra pastovus tankis ir kiekviena vandens dalelė yra rimties padėtyje. Toks ežero paviršius, būdamas statmenas svorio jėgos kryptiai, gali būti Lietuvos ežerų tyrinėjimo sąlygomis laikomas plokščiu ir horizontaliu, nes Lietuvos ežerai yra palyginti maži: didžiausio ežero (Drūkšių) paviršiaus plotas nesiekia 50 km².

*

Specialiai panagrinėsime temperatūros charakteristiką ir susipažinsime su jos gradientu. Tam reikalui panaudosime 46 paveikslėlį ir 7 lentelę.

46 pav. vaizduoja Gilšės ež. izoterminių paviršių, pravestų kas 1°C, piūvį, gautą 1958.VII.14. Grafiniai darbai buvo atlie-



46 pav. Gilšės ež. izoterminių paviršių vertikalinis piūvis

kami, imant vienam milimetrui horizontaline kryptimi 1 m, o vertikaline — 0,1 m. Iš brėžinio matyti, kad izoterminiai paviršiai yra išlankstyti, nors, apskritai imant, tarpusavyje tam tikrais protarpiais lygiagretūs ir maždaug lygiagretūs horizontalinei plokštumai.

Jei izoterminiai paviršiai būtų visiškai lygiagretūs horizontalinei plokštumai, tai ežero vandens temperatūra pasikeistų, kai būtų pereinama iš vieno izoterminio paviršiaus į kitą vertikaline kryptimi, t. y. tiems paviršiams statmena kryptimi, vienodame gylyje ir vienodame nuotolyje nuo aukštesnio paviršiaus. Brėžinyje matome, kad izoterminiai paviršiai yra nutolę vienas nuo kito nevienodu atstumu, o tai reiškia, kad vandens temperatūra pasikeičia vertikaline kryptimi per ilgio vienetą

(metrą, centimetrą) nevienodai. Pavyzdžiui, vertikalėje, nutolusioje nuo kairiojo kranto 150 m, ežero vandens temperatūra pasikeičia tarp izoterminių paviršių per vieną metrą šitaip (žr. 7 lent.).

7 lentelė

Gilšės ežero temperatūriniai gradientai
(1958.VII.14)

Temperatūros eiga laipsniais	20 iki 19	19 iki 18	18 iki 17	17 iki 16	16 iki 15	15 iki 14	14 iki 13
Temperatūros pasikeitimas per ilgio vienetą (°C/m)	−0,90	−1,43	−1,25	−1,11	−3,33	−3,33	−3,33

Temperatūros eiga laipsniais	13 iki 12	12 iki 11	11 iki 10	10 iki 9	9 iki 8	8 iki 7	7 iki 6
Temperatūros pasikeitimas per ilgio vienetą (°C/m)	−5,00	−3,33	−3,33	−1,43	−1,00	−0,60	−0,28

Iš 46 brėžinio aišku, kad nuotoliai tarp izoterminių paviršių tiriamoje vertikalėje yra tokie: 1,1 m; 0,7 m; 0,8 m; 0,9 m; 0,3 m; ir t. t. Šiuos nuotolius, kiekvieną atskirai atitinka 1°C. Taigi 1 m atitiks: 1 : 1,1 = 0,9; 1 : 0,7 = 1,43; 1 : 0,8 = 1,25; ir t. t. Šias dalybas galima apibendrinti tokia formule:

$$\frac{t_{k+1} - t_k}{z_{k+1} - z_k} = \frac{\Delta t}{\Delta z} = x^{\circ}\text{C/m},$$

nes 1° (daliny) yra temperatūrų t gretimuose paviršiuose skirtumas, o skaičiai 1,1; 0,7; 0,8 ir kt. (dalikliai) yra tų paviršių gylių z skirtumai.

Mūsų atveju Δt vis lygus 1°C, o Δz įvairus: lygus 1,1 m; 0,7 m; 0,8 m; ir t. t.

Temperatūros pasikeitimo reikšmės vieno metro,— apskritai, vieno ilgio vieneto,— atstumu, pereinant iš vieno izoterminio paviršiaus į kitą, vadinasi *temperatūriniai gradientai*. Jie kiekybiškai charakterizuoja izoterminių paviršių pasiskirstymą pasirinktoje vertikalėje, arba vandens temperatūros eigą vertikalėje, šiuo atveju nutolusioje nuo kranto 150 m.

Temperatūrinio gradiento reikšmės skaičiuoti pradėjome nuo ežero vandens paviršiaus. Tokiu būdu temperatūrų skirtumas tarp izoterminių paviršių buvo neigiamas, ir gradiento reikšmės

todėl buvo paimtos su minuso ženklu. Jei pradėtume skaičiavimą nuo ežero dugno, tai temperatūrų skirtumas tarp izoterminių paviršių būtų teigiamas, užtat atstumas tarp izoterminių paviršių reiktų imti su minuso ženklu, ir vis tiek gradiento reikšmės pasiliktų neigiamos. Teigiamos gradiento reikšmės būtų tada, kai vertikalios kryptimi nuo paviršiaus gilyn ežero vandens temperatūra didėtų.

Temperatūros pasikeitimas vieno metro atstumu yra nevienodas ne tik tarp įvairių gretimų izoterminių paviršių. Šis pasikeitimas, apskritai imant, yra netolyginis ir tarp tų pačių dviejų izoterminių paviršių. Mes, skaičiuodami temperatūrinio gradiento reikšmes, laikėmės minties, kad tarp tų pačių dviejų izoterminių paviršių temperatūros pasikeitimas yra tolyginis.

Iš tikrųjų nustatyto santykio $\frac{\Delta t}{\Delta z}$ reikšmės, kur Δt yra temperatūrų skirtumas $t_{k+1} - t_k$ tarp izoterminių paviršių, o Δz — vertikalinis atstumas tarp jų (gylių skirtumas $z_{k+1} - z_k$), parodo vidutinį temperatūros pasikeitimą vieno metro atstumu, t. y. palyginti dideliame vertikalės protarpyje Δz . Norint nustatyti bet kuriame vertikalės protarpio taške tikrą temperatūrinio gradiento reikšmę, reikia imti labai mažą Δz , nes tik tokia protarpyje galima tvirtinti, kad temperatūros pasikeitimas yra tolyginis. Tiksliausia bus, jei bet kuriame vertikalės taške temperatūriniu gradientu imsime $\lim_{\Delta z \rightarrow 0} \frac{\Delta t}{\Delta z}$. Šį reiškinį, pažymėję

Δt ir Δz , kai Δz artėja prie nulio, simboliais dt ir dz , galėsime užrašyti tokiu pavidalu: $\frac{dt}{dz}$.

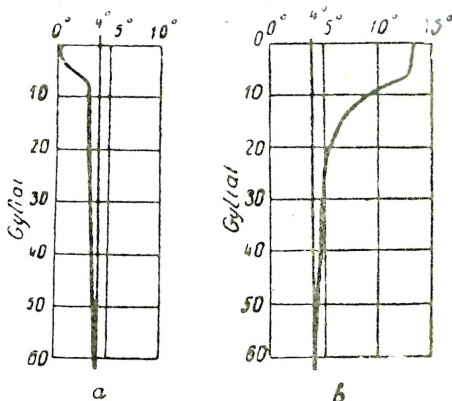
Panašiai samprotaujant, galima gauti tankio, slėgio ir srovės greičio gradientus. Tenka pastebėti, kad izopaviršių teorijoje gradientas $\frac{dt}{dz}$ imamas tik statmena izopaviršiui kryptimi; kita kryptimi gradientas bus $\frac{dt}{dz} \cos \beta$, kur β yra kampas tarp statmenosios ir kitos pasirinktos krypties.

c) Temperatūrinio šuolio sluoksnis

Metų būvyje terminis ežero vaizdas susidaro gana sudėtingas. Pavasarį būna toks momentas, kad visas ežero vanduo pasiekia vienodą $+4^\circ\text{C}$ temperatūrą (įsigali dėl intensyvios vandenų sąmaišos homotermija). Dieną paviršinis vanduo saulės įšildomas aukščiau šios temperatūros. Naktį jis atvėsta

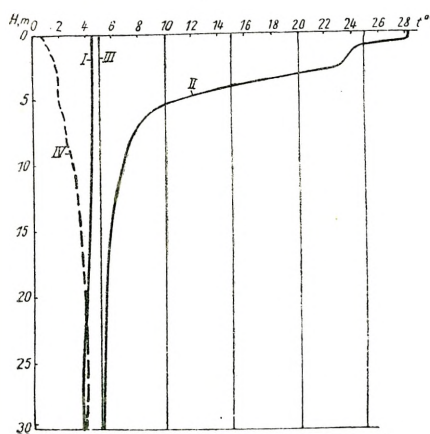
ir grimzta ligi tam tikro gylio,—ligi gylio, kur vanduo tokio pat tankumo. Į viršų iškyla šiltesnis retesnis vanduo. Jis atvėsta ir grimzta. Arba jį saulė dar labiau įšildo, ir jis atvėsta kitą naktį, taigi ir nugrimzta. Tokiu būdu konvekcija vyksta. tiksliau sakant, vystosi toliau. Bet tas vystymasis per daug giliai nesiekia,—siekia tik tiek, kiek leidžia tankių skirtingumas.

Vanduo gali grimzti iki tol, kol jo tankis didesnis už tankį vandens, esančio po juo. Dėl šitos priežasties po paviršiniu vandens sluoksniu susidaro sluoksnis, kuriame vandens temperatūra staigiai krinta. Tai vadinamasis temperatūrinio šuolio sluoksnis. Jis pavaizduotas 47 ir 48 pav. Šuolio sluoksnis susidaro ne tik vasarą, bet ir žiemą. Be to, jis nebūna vis toje pačioje vietoje: jis tai pakyla aukščiau, tai nusileidžia žemiau. Ru-



47 pav. Temperatūrinis šuolis:
a — žiemą, b — vasarą

denį ir pavasarį jis išnyksta, nes tada visas vanduo pasiekia maždaug +4°C laipsnių temperatūrą. Vasarą kai kada susidaro du šuolio sluoksniai. Vasarą šuolio sluoksnis turi tendencijos leistis žemyn, gilyn.

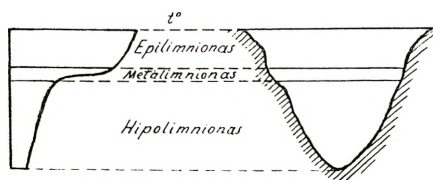


48 pav. Vandens temperatūros kitimas pagal gylį įvairiais sezonais ež. Glubokoje (Maskvos srityje):
I — pavasarį, II — vasarą, III — rudenį, IV — žiemą

Temperatūrinio šuolio sluoksnį Berdžas pavadino metalimnionu, sluoksnį virš jo — epilimnionu, o sluoksnį po juo — hipolimnionu (49 pav.). Šitie terminai prigijo ir limnologijoje dažnai vartojami. Epilimnionas, metalimnionas ir hipolimnionas pa-

sižymi ne vien specifiniais terminiais savumais, bet ir ryškiai skirtingu cheminiu, dujiniu ir biologiniu režimu. Epilimniono zona gauna iš oro deguonies, taip pat šviesos režimas jame gana patogus, tai gali gyventi įvairūs organizmai, vystyti įvairios gyvybės formos. Metalimniono vandens tankis gana didelis, dėl to metalimnionas darosi kliūtis konvekcijai ir deguonies patekimui į hipolimnioną. Šią kliūtį nenugali ir eilė organizmų.

Jei ant dugno prisirenka nemažai nuosėdų, turinčių daug organinių medžiagų, tai hipolimnione dažnai būna juntamas



49 pav. Vertikalinės terminės zonos ežere

deguonies deficitas, nes deguonį suvartoja pūvančios medžiagos. Užtat hipolimnionas, pūvant organinėms medžiagoms, gauna tam tikrą kiekį šilumos.

Ne visuose ežeruose esama visų šitų terminių zonų. Negiliuose ežeruose

esama tik vieno epilimniono ir juose viskas vyksta daug paprasčiau negu giliuose. Negiliuose ežeruose vanduo įšyla ir atvėsta gana greitai ir ligi pat dugno. Negilūs ežerai turi tendencijos į homotermiją. Giliuose ežeruose tokią tendenciją turi terminės zonos.

Į homotermiją, į temperatūrų išsilyginimą veda ir kiti šilumą ežere skirstantieji faktoriai — bangos, srovės, apskritai, homotermijos siekia visa ežero vandens sąmaiša, bet pasiekia tik pavasarį ir rudenį (žr. 48 pav.).

d) Ežero vandens masės pastovumo sąlygos ir šuolio sluoksnis; pastovumo rodiklis — tankio gradientas E

Atskiri vandens sluoksniai gali trukdyti arba skatinti vandens sąmaišą, o tai paveikia sąmaišos mastą ir greitį. Taigi ežero vandens sąmaišos intensyvumas visų pirma yra susijęs su vandens sluoksnių pastovumu. Antra vertus, ežero vandens pastovumas priklauso nuo susisluoksniavimo. Jei žemesnis sluoksnis tankesnis už aukštesnį, tai tokia sluoksnių sistema yra pastovi. O jeigu aukštesnis sluoksnis tankesnis už žemesnį, tai sistema yra nepastovi. Galimas ir toks atvejis, kai visi van-

dens sluoksniai būna vienodo tankio. Šiuo atveju ežero vandenų pusiausvyra būna beskirtė. Taigi tiesioginė stratifikacija (kai žemesnis sluoksnis tankesnis už aukštesnį) sąmaišą trukdo, stabdo, o atvirkštinė stratifikacija (kai aukštesnis sluoksnis tankesnis už žemesnį) sąmaišą skatina.

Vertikalų ežero vandenų pastovumą galima pavaizduoti grafiškai, sudarant izopikninių paviršių vertikalų piūvį, o kiekybiškai apibūdinti, apskaičiavus bet kurioje vertikalėje tankio gradiento $E = \frac{d\rho}{dz}$ g/cm⁴ reikšmes. Jei tankis, einant gilyn, didėja, tai gradiento reikšmės bus teigiamos, priešingu atveju tos reikšmės bus neigiamos. Be to, esant tankiui pastoviam visoje vertikalėje, gradiento reikšmė bus lygi nuliui.

Praktiškai sudarant ežero vandenų pastovumo kiekybinę charakteristiką, elgiamasi šitaip: tam tikroje ežero vietoje matuojamos apverčiamuoju termometru pasirinktuose vertikalės taškuose (0; 2,5; 5; 5; 7,5 m ir t. t. gylyje) vandens temperatūros. Lietuvos ežerų vandenį galima laikyti tolygiu destiliuotam ir iš 6 lentelės rasti pagal temperatūros reikšmes pasirinktų taškų tankio reikšmes; tariant, kad tarp dviejų gretimų taškų tankio pasikeitimas yra tolyginis, tankio gradiento reikšmės nustatomos iš santykio $\frac{\Delta\rho}{\Delta z}$, kur $\Delta\rho$ — tankių skirtumas, o Δz — gylių skirtumas.

Visa tai paaiškinsime konkrečiu pavyzdžiu. 1958 m. liepos 14 d. buvo matuojama Gilšės ežero 100 m atstumu nuo vakarinio kranto vandens temperatūra 0 m, 2,5 m, 5,0 m, 7,5 m ir t. t. gylio vertikalės taškuose. Iš gautų matavimo duomenų buvo sudaryta Gilšės ežero vandens sluoksnių pastovumo kiekybinė charakteristika (žr. 8 lent.).

Ketvirtosios skilties skaičius gavome, atėmę trečiosios skilties gretimus skaičius, aukštesnį iš žemesnio, ir rezultatą ($\Delta\rho$) padaliję iš $\Delta z = 250$ (cm), pavyzdžiui: $(0,998\ 232 - 0,998\ 191) : 250 = 0,000\ 000\ 164$, ir t. t.

Ketvirtoje skiltyje tankio gradiento reikšmės yra labai maži skaičiai, kuriais tekste nepatogu operuoti. Todėl sudarėme penktą skiltį, padidindami tas reikšmes 10⁸ kartų.

Iš lentelės matyti, kad Gilšės ežero vandens masės sluoksnių pastovumas 1958 m. liepos 14 d. buvo didžiausias 2,5—7,5 m gylyje, nes ten tankio gradiento reikšmės yra didžiausios. Aukščiau ir žemiau tų sluoksnių tankio gradiento reikšmės

Vandens sluoksnių pastovumas Gilšės ežere pagal tankio gradientą E
(1958.VII.14)

Gylis z (m)	Tempera- tūra t ($^{\circ}\text{C}$)	Tankis ρ (g/cm^3)	$E = \frac{\Delta \rho}{\Delta z} \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^4} \right)$	$E \cdot 10^8$
0,0	20,2	0,998191	0,000000164	16,4
2,5	20,0	0,998232	0,000002688	268,8
5,0	16,4	0,998904	0,000003496	349,6
7,5	9,4	0,999778	0,000000548	54,8
10,0	7,3	0,999915	0,000000112	11,2
12,5	6,7	0,999943	0,000000124	12,4
15,0	5,8	0,999974	0,000000012	1,2
17,5	5,7	0,999977		

Vidutinis $E \cdot 10^8 = 102,2 \text{ g}/\text{cm}^4$.

keletą ir kelioliką kartų yra mažesnės. Ežero vandens 2,5—7,5 m gylyje — tai šolio sluoksnis, arba metalimnionas. Tame sluoksnyje kai kurių kitų limnologinių charakteristikų (temperatūros, deguonies tirpumo) gradientų reikšmės taip pat yra didžiausios. Šolio sluoksnis vaidina ypatingą vaidmenį ežero vandens sąmaišoje ir, apskritai imant, ežero dinamikoje. Jis trukdo vėjui išplėsti savo veiklą apatiniuose vandens sluoksniuose, hipolimnione. Vandens sąmaišos procesas intensyviau vyksta viršutiniuose sluoksniuose. Mūsų atveju — nuo 0 iki 2,5 m gylio. Šie vandens sluoksniai sudaro bendrą epilimniono sluoksnį. Šolio sluoksnio padėtis yra nepastovi. Pvz., didėjant vėjo greičiui, šolio sluoksnis leidžiasi gilyn. Šolio sluoksnis pasitaiko tuose Lietuvos ežeruose, kurie yra pakankamai gilūs, — 10 ir daugiau metrų gylio. Jis pasitaiko ir mažesnio gylio ežeruose, jei ežeras yra mažas ir užuovėjoje.

e) Vandens masės pastovumo rodiklių D ir D_v nustatymas iš vėjo darbo kiekio

D skaičiavimas grafiniu metodu. V. Šmidtąs pastovumo matu ėmė (1915 metais) vėjo darbo kiekį D , kurio reikia, kad tam tikra pastovi ežero vandens būklė būtų paversta beskirte.

Darbo kiekis D . Kintant ežero vandens masės pastovumui, kinta ir tos masės svorio centro padėtis. Jei ežero van-

dens masė, esanti besikirtėje pusiausvyroje (visa masė to paties tankio), persisluoksniuos taip, kad žemesnis sluoksnis bus vis tankesnis už aukštesnį sluoksnį, tai svorio centras nusileis ir bus žemiau negu pirmesnis svorio centras (žr. 12 pav.). Nuotolis σ tarp horizontalių plokštumų, kuriose yra svorio centrai, kaip tik apsprendžia vandens masės pastovumą, matuojamą darbo kiekiu, kurio reikia, norint perversi pastoviai susisluoksniavusią vandens masę į besikirtę būklę. Drauge tai kaip tik bus darbo kiekis D , kurio reikia pakelti visai ežero vandens masei M tokį tarpą, kokį sudaro abiejų svorio centrų padėčių aukščių skirtumas σ ; taigi

$$D = M \cdot \sigma^* \quad (41)$$

Šiai sandaugai išskaičiuoti pritaikomas V. Šmidto integralas, būtent:

$$D = M\sigma = \int_0^H (q_z - 1)(z - S_0) dV, \quad (41a)$$

kur H — didžiausias ežero gylis, q_z — vandens tankis, esant tam tikrai temperatūrai; z — kiekvienos dalelės nuotolis nuo ežero paviršiaus, S_0 — nuotolis nuo ežero paviršiaus iki vieno do tankio vandens masės svorio centro; dV — vandens tūrio elementas.

Integralas sprendžiamas grafiniu metodu, pasinaudojant morfometriniais duomenimis, tūrių ir tankių kreivėmis. Sprendimą pailiustruosime konkrečiu pavyzdžiu. Tam reikalui integralą perrašysime tokiu būdu:

$$D = \int_0^H (q_z - 1)z dV - S_0 \int_0^H (q_z - 1) dV. \quad (41b)$$

Iš morfometrijos skyriaus žinome, kad dydis S_0 surandamas iš formulės (2)

$$S_0 = \frac{\int_0^H z_k dV}{V}.$$

Taip pat žinome, kad ši formulė reikalauja morfometrinių duomenų ir tūrių kreivės.

* Čia ir toliau vandens svoris reiškiamas svorio gramais, todėl darbas bus reiškiamas $g \cdot cm$ vienetais. Norint darbą reikšti ergais, reiktų svorį reikšti dinomis. Tada būtų $D = M\sigma g$, kur $g = 981 \text{ cm/sek}^2$.

1954.X.8 buvo matuojama Žiezdro ežero centro vertikalėje vandens temperatūra 0, 5, 10, 15 m ir t. t. gylio taškuose. Matavimo duomenys surašyti 9 lentelėje.

9 lentelė

Žiezdro ež. vandens temperatūra ir tankis
(1954.X.8)

z (m)	t (°C)	ρ_z	$\rho_z - 1$
0	10,3	0,999701	—0,000299
5	10,2	0,999710	—0,000290
10	10,9	0,999728	—0,000272
15	6,0	0,999968	—0,000032
20	5,8	0,999974	—0,000026
25	5,4	0,999984	—0,000016
30	5,4	0,999984	—0,000016
35	5,4	0,999984	—0,000016
36	5,4	0,999984	—0,000016

Trečioje skiltyje surašyti vertikalės taškų tankiai, paimti iš 6 lentelės pagal atitinkamas temperatūras.

Pagrindiniai Žiezdro ežero morfometriniai duomenys tokie (žr. 10 lent.).

10 lentelė

Žiezdro ežero morfometriniai duomenys

Gylis z (m)	Plotas (ha)	Gylių eiga (m)	Tūris tarp dviejų izoba- tų (m^3)
0	57,10	0—5	2 473 500
5	41,84	5—10	1 783 500
10	29,50	10—15	1 211 500
15	18,96	15—20	714 000
20	9,60	20—25	351 000
25	4,46	25—30	148 000
30	1,46	30—35	46 000
35	0,38	35—36	1 900

$$V = 6\,729\,900 \approx 6\,730 \cdot 10^3 \text{ m}^3$$

Kaip iš tūrių kreivės apskaičiuojamos integralo $\int_{z_k}^H z dV$ reikšmės, pavaizduota 50 paveikslėlyje.

Grafiniai darbai buvo atliekami, imant vienam milimetrui horizontalinėje ašyje $20\,000\text{ m}^3$, o vertikalinėje $0,1\text{ m}$. Šiuo būdu buvo gauti tokio didumo plotai:

$$\text{pl. } AOB = 30\,031\text{ mm}^2$$

$$\text{pl. } AOKC = 26\,412\text{ „}$$

$$\text{pl. } AOND = 20\,263\text{ „}$$

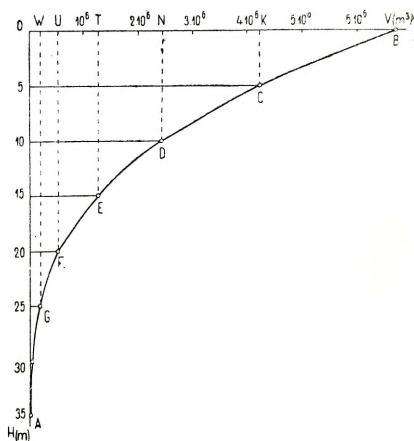
$$\text{pl. } AOTE = 12\,335\text{ „}$$

$$\text{pl. } AOUF = 6\,665\text{ „}$$

$$\text{pl. } AOWG = 2\,884\text{ „}$$

ir t. t.

Šių plotų 1 mm^2 atitinka $2\,000\text{ m}^4$. Skaičiavimo rezultatai surašyti 11 lentelėje.



50 pav. Žiezdro ež. tūrių kreivė

11 lentelė

Integralo $\int_{z_k}^H z dV$ reikšmės

Gylis z (m)	Plotas (mm ²)	$\int_{z_k}^H z dV$ (m ⁴)	Pastabos
0—36	30 031	$60\,062 \cdot 10^3$	1 mm ² atitinka 2000 m ⁴ (20 000 m ³ · 0,1 m = = 2 000 m ⁴)
5—36	26 412	$52\,824 \cdot 10^3$	
10—36	20 263	$40\,526 \cdot 10^3$	
15—36	12 335	$24\,670 \cdot 10^3$	
20—36	6 665	$13\,330 \cdot 10^3$	
25—36	2 884	$5\,768 \cdot 10^3$	
30—36	759	$1\,518 \cdot 10^3$	
35—36	34	$68 \cdot 10^3$	

Žiezdro ežero vandens masės svorio centro atstumas nuo vandens paviršiaus bus

$$S_0 = \frac{\int_0^H z dV}{V} = \frac{60\,062 \cdot 10^3}{6\,730 \cdot 10^3} \approx 8,9,$$

t. y.

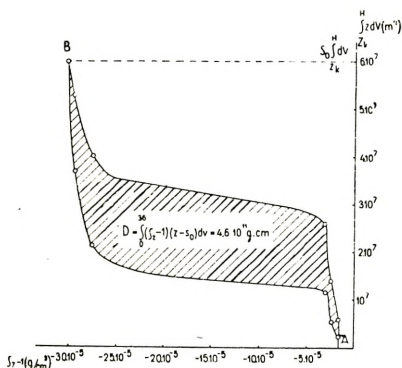
$$6\,730 \cdot 8,9 \approx 60\,062.$$

Toliau, turint omenyje form. (41 b), brėžiamos tankių kreivės, pažymint vertikalinėje ašyje integralų

$$\int_{z_k}^H z dV \text{ (m}^4\text{) ir } S_0 \int_{z_k}^H dV \text{ (m}^4\text{)}$$

reikšmes, o horizontalinėje prie atitinkamų gylių taškų q_z — 1 (g/cm³) reikšmes (51 pav.).

Grafiniai darbai buvo atliekami, imant 1 milimetrui vertikalinėje 0,2 · 10¹⁴ cm⁴, o horizontalinėje 10⁻⁶ g/cm³. Vieną kvad-



51 pav. Grafinis $\int_0^H (q_z - 1)(z - S_0) dV$ skaičiavimas Žiedro ežerui

ratinį milimetrą atitinka 0,2 · 10⁸ g · cm. Plotas tarp kreivių buvo lygus 23 000 mm². Tai gi Žiedro ežero vandenių pastovumo reikšmė yra plotų, apibrėžtų koordinatų ašių ir tankių kreivių, skirtumas, būtent:

$$D = 4,6 \cdot 10^{11} \text{ g} \cdot \text{cm}.$$

Darbo kiekis D_v . Iš skaičiavimo eigos matyti, kad, skaičiuojant D , iš vienos ežero

vertikalės taškų tankių sprendžiamas viso ežero vandens pastovumo klausimas, nes uždavinio sprendime operuojama viso ežero ir jo dalių tūriais. O tai kaip tik yra šio metodo trūkumas, nes, panaudojus kitos ežero vertikalės tankius, būtų gautas skirtingas rezultatas.

Šiam trūkumui pašalinti galima ežero vandens masės pastovumo reikšmes apskaičiuoti atskirose vertikalėse. Tokiu atveju naudojamosi pastovumo formulė tokio pavidalo:

$$D_v = \sum_0^H (q_z - 1)(z - 0,5 H) \Delta z, \quad (42)$$

kur Δz — sluoksnio storis gylyje z (z — atstumas nuo ežero paviršiaus iki sluoksnio svorio centro). Sluoksnio pagrindas lygus 1 cm². Jei z , H ir Δz išreikšta cm, o q_z — g/cm³, tai darbas D_v

bus išreikštas $g \cdot cm$. Kaip matome, formulėje (42) nei viso ežero, nei jo dalių turi ai nefigūruoja.

Apskaičiuosime pagal formulę (42) Žiezdro ežero didžiausio gylio vertikalėje vandens masės pastovumo reikšmę, pasinaudodami 9 lentelės duomenimis. Skaičiavimo eiga ir rezultatai surašyti 12-toje lentelėje.

12 lentelė

Žiezdro ež. vandens masės pastovumas D_v didžiausio gylio vertikalėje išskaičiuotas pagal formulę (42)
(1958.X.8)

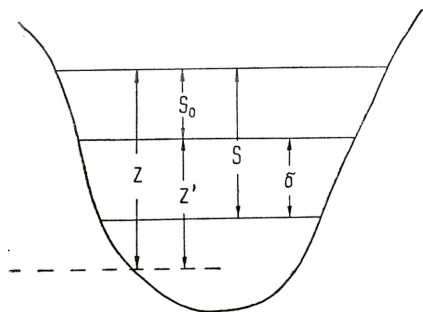
Sluoksnis (m)	$Qz-1$ (g/cm^3)	$z-0,5 H$ (cm)	$(Qz-1)(z-0,5H)\Delta z$ ($g \cdot cm$)
0—5	— 0,000295	— 1 550	228,63
5—10	— 0,000281	— 1 050	147,53
10—15	— 0,000152	— 550	41,80
15—20	— 0,000029	— 50	0,73
20—25	— 0,000021	450	— 4,73
25—30	— 0,000016	950	— 7,60
30—35	— 0,000016	1 450	— 11,60
35—36	— 0,000016	1 750	— 2,80

$$D_v = \Sigma = 391,96 \text{ g} \cdot \text{cm}$$

12 lentelės antrosios skilties skaičiai yra 9 lentelės ketvirtosios skilties gretimų skaičių aritmetiniai vidurkiai, pavyzdžiui: $[-0,000\ 299 + (-0,000\ 290)] : 2 = -0,000\ 295$; ir t. t. Šiuo atveju visur $\Delta z = 500$ cm, tik reikia nepamiršti, kad 12 lentelės ketvirtojoje skiltyje dydis Δz , išreikštas cm, yra storis sluoksnio, kurio pagrindas lygus 1 cm^2 . Taigi iš tikrųjų dauginama ne iš Δz , bet iš $\Delta z \cdot 1\text{ cm}^2$. Sudauginę ketvirtosios skilties sandaugos dimensijas, kaip tik gausime $g \cdot cm$. Sluoksnio svorio centro atstumas nuo jo paviršiaus 250 cm. Tai gyliai $z = 250$ cm; 750; 1250; ir t. t.

391,96 $g \cdot cm$ — tai kiekis darbo, kurio reikia išmaišyti (pervesti į beskirtę būklę) vandens stulpelį, kurio aukštis 3 600 cm (36 m didžiausias ežero gylis), o pagrindas lygus 1 cm^2 .

D skaičiavimas analiziniu metodu. Susipažinę su grafiniu V. Šmidto integralo skaičiavimu, pamėginsime spręsti ežero vandens masės pastovumo klausimą analiziškai, t. y.



52 pav. Schema ežero vandens masės pastovumui skaičiuoti (pagal S. D. Muraveiskį)

pasistengsime rasti darbą, reikalingą ežero 4°C temperatūros vandens masei sušildyti iki kitos norimos temperatūros.

Kad susipažinimas nebūtų keblus, gerai įsižiūrėkime brėžinį (52 pav.). Brėžinyje S reiškia nuotolį nuo ežero paviršiaus ligi vandens masės svorio centro, kai ežeras tankio atžvilgiu susisluoksniavęs; S_0 reiškia tokį pat

nuotolį, kai tankis visame ežere būna vienodas ($q = \text{const}$); $\sigma = S - S_0$ reiškia vertikalių nuotolį tarp svorio centrų padėčių, z — reiškia gylį; $z' = z - S_0$.

Dydis S_0 , kaip žinome, surandamas iš formulės (2):

$$S_0 = \frac{\int_0^H z dV}{V}. \quad (I)$$

Dydis S surandamas iš panašios formulės (3), būtent:

$$S = \frac{\int_0^H q_z z dV}{\int_0^H q_z dV}, \quad (II)$$

kur ženklelis z prie tankio q nusako, kad tankis yra gylio funkcija, t. y. priklauso nuo gylio.

Formulėse (I) ir (II) dydį z turėsime pakeisti dydžiu z' , jei koordinatų ašių pradžią lygiagretiškai perkelsime iš ežero paviršiaus į vienodo tankio vandens masės svorio centrą S_0 . Turėsime pakeisti ir apibrėžtinių integralų ribas, kurios bus $0 - S_0$, arba $-S_0$, ir $H - S_0$, o svorio centro vertikalinė koordinata bus nulis.

Taigi

$$S_0 = \frac{\int_{-S_0}^{H-S_0} z' dV}{V} = 0 \quad (a)$$

Dėl to dydį σ galima šitaip išreikšti:

$$\sigma = S - S_0 = \frac{\int_0^H Q_z z dV}{\int_0^H Q_z dV} - \frac{\int_0^H z dV}{V} = \frac{\int_{-S_0}^{H-S_0} Q_z z' dV}{\int_{-S_0}^{H-S_0} Q_z dV} - 0 = \frac{\int_{-S_0}^{H-S_0} Q_z z' dV}{\int_{-S_0}^{H-S_0} Q_z dV} \quad (b)$$

Vandens tankis Q_z paprastai būna arti 1, — už 1 kiek mažesnis. Dėl to galime rašyti: $Q_z = 1 + \mu$, kur μ mažas neigiamas dydis. Be to, $Q_z dV = dm$, t. y. sandauga tankio iš tūrio elemento lygi ežero vandens masės elementui. Tokiu būdu formulė (b) įgyja pavidalą

$$\sigma = \frac{\int_{-S_0}^{H-S_0} (1 + \mu) z' dV}{\int_{-S_0}^{H-S_0} dm} = \frac{\int_{-S_0}^{H-S_0} z' dV + \int_{-S_0}^{H-S_0} \mu z' dV}{M},$$

kur simbolis M reiškia ežero vandens masę. Formulė (a) įmanoma tik tuo atveju, kai integralas $\int_{-S_0}^{H-S_0} z' dV = 0$, nes V yra baigtinis nelygus nuliui dydis.

Taigi gauname:

$$\sigma = \frac{\int_{-S_0}^{H-S_0} \mu z' dV}{M} \quad (c)$$

Prisimenama formulė $D = M\sigma$ ir joje dydis σ pakeičiamas jo reikšme (c):

$$D = M \frac{\int_{-S_0}^{H-S_0} \mu z' dV}{M},$$

arba

$$D = \int_{-S_0}^{H-S_0} \mu z' dV.$$

Perėjus prie senos koordinatų sistemos, t. y. integrale pakeitus dydį z' dydžiu $z-S_0$, o taip pat dydį μ dydžiu q_z-1 , gaunamas jau mums žinomas V. Šmidto integralas

$$D = \int_0^H (q_z - 1) (z - S_0) dV.$$

D skaičiavimas pagal Muraveiskio formulę. S. D. Muraveiskis modifikavo V. Šmidto integralą ta prasme, kad jis skaičiavo pastovumo rodiklį ne iš karto visai ežero vandens masei M , bet atskiriems vandens sluoksniams, būtent: nuo 0 iki z_1 , nuo z_1 iki z_2 , nuo z_2 iki z_3 ir t. t.

Tokiu būdu pastovumo rodiklis atskiram vandens sluoksniui bus (indeksuose ženklas „—“ čia atstoja daugtaškį „...“):

$$D_{z_k - z_{k+1}} = \int_{z_k}^{z_{k+1}} (q_z - 1) (z - S_0) dV.$$

Imami palyginti ploni vandens sluoksniai, tai tankį galima laikyti pastoviu ir tuo pačiu jį iškelti už integralo ženklo. Gaunama:

$$\begin{aligned} D_{z_k - z_{k+1}} &= (q_z - 1) \int_{z_k}^{z_{k+1}} (z - S_0) dV = \\ &= (q_z - 1) \left(\int_{z_k}^{z_{k+1}} z dV - S_0 \int_{z_k}^{z_{k+1}} dV \right), \end{aligned}$$

arba

$$D_{z_k - z_{k+1}} = (q_z - 1) \left(\int_{z_k}^{z_{k+1}} z dV - S_0 V_{z_k - z_{k+1}} \right).$$

Sukeitus abiejuose daugmenyse dėmenis vietomis, gaunama:

$$D_{z_k - z_{k+1}} = (1 - q_z) \left(S_0 V_{z_k - z_{k+1}} - \int_{z_k}^{z_{k+1}} z dV \right).$$

Muraveiskis, antrąjį daugmenį pažymėjęs simboliu $\eta_{z_k - z_{k+1}}$, pateikia atskirų sluoksnių pastovumo rodikliams skaičiuoti formulę tokiu pavidalu:

$$D_{z_k - z_{k+1}} = \eta_{z_k - z_{k+1}} (1 - q_z). \quad (43)$$

Kad suprastume Šmidto integralo Muraveiskio modifikacijos tikslą, apskaičiuokime pagal Muraveiskio formulę visos Žiezdro ež. vandens masės pastovumo rodiklį, būtent

$$D = \sum D_{z_k - z_{k+1}}.$$

Tam reikalui iš 9 lent. ketvirtosios skilties imsime duomenis apie Žiezdro ež. vandens tankius ir iš 10 lent. paimtus tūrius tarp dviejų izobatų padauginsime iš $S_0 = 8,9$ m, o iš tūrių kreivės

(50 pav.) apskaičiuosime $\int_{z_k}^{z_{k+1}} z dV$ tarp 0 ir 5 m, tarp 5 ir 10 m, tarp 10 ir 15 m, ir t. t. (žr. 85 psl.). Visus reikalingus duomenis surašysime į 13 lentelę.

13 lentelės ketvirtosios skilties duomenys yra dviejų gretimų antrosios skilties duomenų aritmetiniai vidurkiai. Septintosios skilties skaičiai gaunami, atėmus iš penktosios skilties skaičių šeštosios skilties skaičius. Rezultatą padauginus iš ketvirtosios skilties skaičių, gaunami aštuntosios skilties skaičiai. D gaunamas visus aštuntosios skilties skaičius sudėjus.

D pagal Muraveiskio formulę galima rasti ir g r a f i š k a i.

Tam reikalui visų pirma reikia apskaičiuoti sumas $\sum_{z_k}^H \eta_{z_k - z_{k+1}}$, panaudojant 13 lentelės septintosios skilties duomenis. Galima taip pat tas sumas rasti pasinaudojus formule $\sum_{z_k}^H \eta_{z_k - z_{k+1}} =$

$$= S_0 V_{z_k - H} - \int_{z_k}^H z dV. \text{ Tai bus tiksliau.}$$

Skaičiavimo eigą ir reikalingus grafikui duomenis parodome 14 lentelėje. 5 skilties skaičiai gaunami, dauginant prie 50 brėžinio nurodytus skaičius iš 2000.

Iš 14 lentelės šeštosios skilties matyti, kad suma ežero paviršiuje yra lygi nuliui, toliau ji absoliutiniu didumu svorio centre pasiekia maksimalinę reikšmę ir toliau mažėja dugno link, kur virsta nuliui.

Iš 53 pav. nesunku suprasti, kad Žiezdro ež. vandenų pastovumo rodiklis bus plotas tarp kreivės ir horizontalinės ašies, būtent: $D = 4,6 \cdot 10^{11} \text{ g} \cdot \text{cm}.$

Grafiškai darbai buvo atliekami tokiu pat masteliu, kaip 51 paveikslėlyje.

Pastovumo skaičiavimas pagal formulę (43)

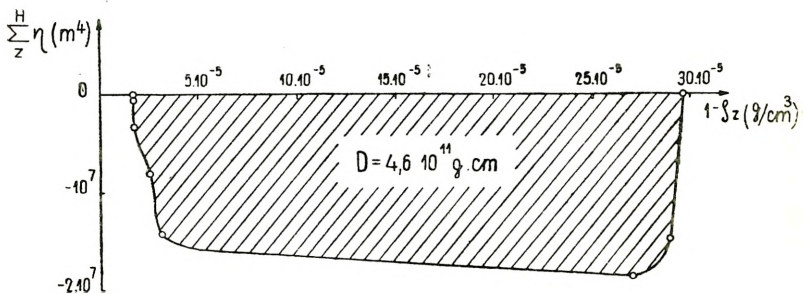
Gylis z (m)	$1-Q_z$ (g/cm ³)	Gylių eiga	Atskiro sluoksnio $1-Q_z$ (g/cm ³)	$S_0 V_{z_k-z_{k+1}}$ (m ⁴)	z_{k+1} $\int z dV$ z_k (m ⁴)	$\eta_{z_k-z_{k+1}}$ (cm ⁴)	$D_{z_k-z_{k+1}}$ (g · cm)
0	$299 \cdot 10^{-6}$	0—5	$295 \cdot 10^{-6}$	$22\,014 \cdot 10^3$	$6\,238 \cdot 10^3$	$15\,776 \cdot 10^{11}$	$4\,653,9 \cdot 10^8$
5	$290 \cdot 10^{-6}$	5—10	$281 \cdot 10^{-6}$	$15\,873 \cdot 10^3$	$13\,299 \cdot 10^3$	$2\,574 \cdot 10^{11}$	$723,3 \cdot 10^8$
10	$272 \cdot 10^{-6}$	10—15	$152 \cdot 10^{-6}$	$10\,782 \cdot 10^3$	$14\,856 \cdot 10^3$	$-4\,074 \cdot 10^{11}$	$-619,2 \cdot 10^8$
15	$32 \cdot 10^{-6}$	15—20	$29 \cdot 10^{-6}$	$6\,355 \cdot 10^3$	$12\,339 \cdot 10^3$	$-5\,984 \cdot 10^{11}$	$-173,5 \cdot 10^8$
20	$26 \cdot 10^{-6}$	20—25	$21 \cdot 10^{-6}$	$3\,128 \cdot 10^3$	$7\,751 \cdot 10^3$	$-4\,623 \cdot 10^{11}$	$-97,0 \cdot 10^8$
25	$16 \cdot 10^{-6}$	25—30	$16 \cdot 10^{-6}$	$1\,317 \cdot 10^3$	$4\,061 \cdot 10^3$	$-2\,744 \cdot 10^{11}$	$-43,9 \cdot 10^8$
30	$16 \cdot 10^{-6}$	30—35	$16 \cdot 10^{-6}$	$409 \cdot 10^3$	$1\,451 \cdot 10^3$	$-1\,042 \cdot 10^{11}$	$-16,7 \cdot 10^8$
35	$16 \cdot 10^{-6}$	35—36	$16 \cdot 10^{-6}$	$17 \cdot 10^3$	$69 \cdot 10^3$	$-52 \cdot 10^{11}$	$-0,8 \cdot 10^8$
36	$16 \cdot 10^{-6}$	35—36	$16 \cdot 10^{-6}$	0	0	0	0

$$D = \Sigma D_{z_k-z_{k+1}} = 4,4 \cdot 10^{11} \text{ g} \cdot \text{cm}.$$

Duomenys, kurių reikia grafiškam D skaičiavimui
pagal formulę (43)

Gylis z (m)	$1 - \rho_z$	Nuo iki H	$S_0 V_{z_k-H}$	$\int_{z_k}^H z dV$	$\sum_{z_k}^H \eta_{z_k-z_{k+1}}$
0	$299 \cdot 10^{-6}$	0—36	$60\,062 \cdot 10^3$	$60\,062 \cdot 10^3$	0
5	$290 \cdot 10^{-6}$	5—36	$37\,883 \cdot 10^3$	$52\,824 \cdot 10^3$	$-14\,941 \cdot 10^3$
10	$272 \cdot 10^{-6}$	10—36	$22\,009 \cdot 10^3$	$40\,526 \cdot 10^3$	$-18\,517 \cdot 10^3$
15	$32 \cdot 10^{-6}$	15—36	$11\,226 \cdot 10^3$	$24\,670 \cdot 10^3$	$-13\,444 \cdot 10^3$
20	$26 \cdot 10^{-6}$	20—36	$4\,872 \cdot 10^3$	$13\,330 \cdot 10^3$	$-8\,458 \cdot 10^3$
25	$16 \cdot 10^{-6}$	25—36	$1\,744 \cdot 10^3$	$5\,568 \cdot 10^3$	$-3\,824 \cdot 10^3$
30	$16 \cdot 10^{-6}$	30—36	$426 \cdot 10^3$	$1\,519 \cdot 10^3$	$-1\,093 \cdot 10^3$
35	$16 \cdot 10^{-6}$	35—36	$17 \cdot 10^3$	$68 \cdot 10^3$	$-51 \cdot 10^3$
36	$16 \cdot 10^{-6}$	36—36	0	0	0

Kaip ežero vandens masės pastovumo rodiklio apskaičiavimo eiga rodo, Muraveiskio formule lengva yra rasti ir atskirų sluoksnių pastovumo reikšmes. Be to, sprendžiant šį klausimą



53 pav. Žiedro ež. vandens pastovumo rodiklio D skaičiavimas
pagal formulę (43)

grafiškai, tenka brėžti tik vieną kreivę, pažymint horizontalinėje ašyje $1 - \rho_z$ (g/cm^3), o vertikalinėje ašyje $\sum_{z_k}^H \eta_{z_k-z_{k+1}}$ (m^4). Antra vertus, skaičiavimo eiga pagal Muraveiskio formulę ilgesnė, negu sprendžiant Smidto integralą.

Vandens tankis paprastai, augant gyliui, didėja. Bet tarpais gali ir mažėti. Vandens temperatūrai pasiekus $+4^\circ\text{C}$, $\rho_z = 1$. Tokiu atveju $(1 - \rho_z) = 0$. Dėl to reiškiniai $\eta_z(1 - \rho_z)$, $(\rho_z - 1)(z - S_0) dV$ ir $(\rho_z - 1)(z - 0,5 H)$ virsta 0.

Kaip jau esame kalbėję, ežero vandens masės pastovumą charakterizuoja taip pat tankio gradientas $E = \frac{dq}{dz}$ g/cm⁴. Jis apibūdina pastovumą ne tik pagal visą vertikale, bet ir pagal bet kurią jos dalį. Praktikoje, be abejo, tenka reikšti didelių ežerų vandens masės pastovumą tankio gradiento reikšmių aritmetiniu vidurkiu, nes V. Šmidto integralui spręsti arba pastovumo rodikliui skaičiuoti S. D. Muraveiskio formule reikia turėti pagrindinius ežero morfometrinius duomenis, o taip pat patsai skaičiavimas laiko atžvilgiu yra neekonomiškas. Antra vertus, V. Šmidto integralas ir S. D. Muraveiskio formulė yra susiję su ežero tūriu ir gyliu, taigi ir su ežero dubens forma. Čia kaip tik glūdi tų matematinių reiškinių pagrindinė reikšmė. Nagrinėjant ežero vandens masės pastovumo priklausomybę nuo ežero formos, negalima be V. Šmidto integralo apsieiti.

f) Turbulentinės sąmaišos lygtis ir masių apykaitos koeficientas A

Esame nurodę, kad vandens sąmaiša neretai skirstoma į molekulinę ir moliarinę. Moliarinė vandens sąmaiša susidaro dėl turbulentinio, t. y. sūkurinio, vandens judėjimo, kurį sukelia terminės ir dinaminės priežastys. Vykstant moliarinei sąmaišai, vandens dalys ir dalelės abipusiškai pereina iš vieno vandens sluoksnio į kitą. Kartu su vandens kiekiais pernešamos iš sluoksnio į sluoksnį įvairios substancijos: druskos, koloidai, dujos, mineralinės ir organinės dalelės. Šiuo atveju šiluma ir judesio kiekis taip pat laikomi substancijomis. Vykstant vandens sąmaišai, išsilygina visos vandens limnologinės charakteristikos: temperatūra, tankis, druskingumas, dujų tirpumas, biomasės tankis ir t. t. Pasikeitus ežero vandens charakteristikoms kuriame nors sluoksnyje, pasikeičia taip pat ir esančių jame substancijų kiekiai, jų koncentracija.

Turbulentinės substancijų sąmaišos klausimą bendruoju atveju nagrinėjo taip pat V. Šmidtas. Jis vietoje substancijos kiekio įvedė koncentracijos sąvoką. Be to, jis laikėsi minties, kad koncentracija yra tiesiai proporcinga limnologinei charakteristikai. Pavyzdžiui, judesio kiekis yra tiesiai propor-

cingas srovės greičiui, šilumos kiekis — temperatūrai, dujų kiekis — dujų tirpumui ir t. t.

Išvedant turbulentinės (moliarinės) sąmaišos lygtį, paprastumo dėlei limnologinės charakteristikos izopaviršiai laikomi horizontaliomis plokštumomis. Iš jų viena plokštuma, kurios plotas f , ir charakteristikos b reikšmė b_0 pasirenkama koncentracijos kitimui stebėti, vykstant vandens sąmaišai. Be to, bus visai natūralu, jei manysime, kad vandens dalelių judėjimas pasirinktos plokštumos atžvilgiu vyksta simetriškai, t. y. kiekvieną vandens dalelę, kuri pasieks plokštumą iš viršaus atstumu $+z$, atitiks vandens dalelė atstumu $-z$, atėjusi į plokštumą iš apačios.

Tegu per t laiko iš viršaus pro plokštumą praeina tam tikras skaičius vandens dalelių, kurių masės yra

$$m_1, m_2, m_3 \text{ ir t. t.},$$

o jų charakteristikos reikšmės

$$b_1, b_2, b_3 \text{ ir t. t.}$$

Kad nebūtų plokštumos viršuje vandens masės sumažėjimo, per tą patį laiką t turi iš apačios praeiti pro plokštumą toks pat skaičius dalelių su atitinkamomis masėmis

$$m'_1, m'_2, m'_3 \text{ ir t. t.},$$

ir charakteristikos reikšmėmis:

$$b'_1, b'_2, b'_3 \text{ ir t. t.}$$

Iš viso aišku, kad $m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n = m'_1 + m'_2 + m'_3 + \dots + m'_n$, arba

$$\Sigma m = \Sigma m'.$$

Taigi

$$\Sigma m - \Sigma m' = 0,$$

arba

$$\Sigma m - \Sigma m = 0.$$

Viršuje plokštumos koncentracija pasikeis dydžiu $k\Sigma mb$, o plokštumos apačioje $k\Sigma mb$, kur k yra proporcingumo koeficientas. Pavyzdžiui, jei limnologinė charakteristika yra

temperatūra, koncentracija — šilumos kiekis, tai proporcingumo koeficientas k bus specifinė šiluma, arba šilumos talpumas, $c = 1$. Tokiu būdu koncentracijos pasikeitimas pro pasirinktą plokštumą per t laiką bus

$$Q = k \left(\sum_{+} mb - \sum_{-} mb \right), \quad (a)$$

o koncentracija pasikeis pro vieną cm^2 per vieną sekundę:

$$q = \frac{k}{ft} \left(\sum_{+} mb - \sum_{-} mb \right). \quad (b)$$

Kadangi izopaviršiai yra laikomi horizontaliomis plokštumomis, tai vandens charakteristika b priklausys tik nuo ežero gylio, bus gylio z tam tikra funkcija. Sakysime, kad $b = f(z)$, kur z yra gylis, atskaitomas nuo pasirinktos plokštumos į viršų ir į apačią. Išreikšime $f(z)$ Teiloro eilute*, pasitenkindami tik trimis eilutės nariais:

$$f(z) = f(0) + z \frac{df(0)}{dz} + \frac{1}{2} z^2 \frac{d^2f(0)}{dz^2},$$

arba

$$b = b_0 + z \frac{db}{dz} + \frac{1}{2} z^2 \frac{d^2b}{dz^2}. \quad (c)$$

Lygybėje (b) pakeitus dydį b dešiniuoju lygybės (c) reiškiniu, gaunama

$$q = \frac{k}{ft} \left[b_0 \left(\sum_{+} m - \sum_{-} m \right) + \frac{db}{dz} \left(\sum_{+} mz - \sum_{-} mz \right) + \right. \\ \left. + \frac{1}{2} \frac{d^2b}{dz^2} \left(\sum_{+} mz^2 - \sum_{-} mz^2 \right) \right].$$

Kaip jau minėjome, dėl ežero vandens masės kompensacijos

$$\sum_{+} m - \sum_{-} m = 0,$$

o dėl simetriško ($+z$ ir $-z$ atstumu) vandens dalelių judėjimo plokštumos atžvilgiu taip pat ir

$$\sum_{+} mz^2 - \sum_{-} mz^2 = 0.$$

* Taip pasielgti galima, nes mes žinome iš matavimo duomenų, jog $f(z)$ grafiškas pavidalas, apskritai imant, yra artimas parabolei.

Tokiu būdu koncentracijos pasikeitimas pro vieną cm^2 per 1 sek bus

$$q = k \frac{db}{dz} \cdot \frac{\Sigma_{mz} - \Sigma_{mz}}{ft},$$

arba
$$q = kA \frac{db}{dz}, \quad (44)$$

kur
$$A = \frac{\Sigma_{mz} - \Sigma_{mz}}{ft}. \quad (44a)$$

Tai kaip tik yra turbulentinės sąmaišos lygtis, kur $\frac{db}{dz}$, savaime suprantama, yra charakteristikos gradientas stebėjimo plokštumoje.

V. Šmidtas dydį A pavadino masių apykaitos koeficientu. Kaip iš lygybės (44a) matyti, masių apykaitos koeficientas A nepriklauso nuo limnologinės charakteristikos bei gradiento, o priklauso nuo gylio ir laiko. Jo dimensija yra $\text{g/cm} \cdot \text{sek}$. Tenka pastebėti, kad panašia lygtimi, kaip lygybė (44), išreiškiama molekulinė sąmaiša, molekulinis pernešimas (difuzija, šilumos laidumas).

Tiriant ežero vandens masę, jos dinamiką, patogiausia lauko sąlygomis matuoti vertikalių taškų temperatūras ir gautais duomenimis apskaičiuoti temperatūrinius gradientus ir šilumos kiekio pasikeitimą pro vieną cm^2 per laiko vienetą ir pagaliau pagal lygybę (44) apskaičiuoti masių apykaitos koeficientą A pasirinktose plokštumose. Radus A reikšmes, toliau galima, pasinaudojus ta pačia turbulentine lygtimi (44), nagrinėti kitų limnologinių charakteristikų gradientų ryšius su jų koncentracijų pasikeitimais tose pačiose plokštumose. V. Šmidtas ir laikė ta prasme lygybes (44) ir (44a) svarbiomis turbulentinių substancijų sąmaišos tyrinėjimuose. Tam reikalui jis sudarė tokią lentelę (žr. 15).

Pamėginkime apskaičiuoti šilumos apykaitos koeficientus Aiseto ež. morfometriniais duomenimis ir jo vertikalės ties Gatakiemio kaimu taškų temperatūros matavimais*, būtent (žr. 16 lent.).

* Temperatūros matavimus atliko Lietuvos TSR MA Geologijos ir geografijos instituto m. b. I. Klimkaitė.

Duomenys vandens masei tyrinėti
(pagal V. Smidą)

Charakteristika <i>s</i>	Koncentracija	Koeficientas <i>k</i>	Koncentracijos pasikeitimas
Srovių greitis (cm/sek)	Judesio kiekis (gcm/sek)	Trintis (g/cm sek)	Judesio kiekio (g/cm sek ²)
Temperatūra (°C)	Šilumos kiekis (kal)	Specifinė šiluma (kal/g · °C)	Šilumos kiekio (kal/cm ² sek)
Druskingumas 1‰	Druskų kiekis (mg)	Difuzijos	Druskų kiekio (mg/cm ² sek)
Dujų tirpumas	Dujų kiekis	Difuzijos	Dujų kiekio
Biomosės tankis	Organizmų skaičius	Difuzijos	Organizmų skaičiaus

16 lentelė

Aiseto ež. morfometriniai ir temperatūros duomenys

Gylis <i>z</i> (m)	Plotas (ha)	Gylių eiga (m)	Tūris tarp dviejų izobatų (m ³)	Gylių eiga (m)	Tūris po izobatos (m ³)	Gylis <i>z</i> (m)	Temperatūra (°C) 1956. VII.19	Temperatūra (°C) 1956. VII.20
0	496	0—5	21 600 · 10 ³	0—40	53 144 · 10 ³	0	19,9	17,5
5	368	5—10	15 175 · 10 ³	5—40	31 544 · 10 ³	5	18,0	17,2
10	239	10—15	9 225 · 10 ³	10—40	16 369 · 10 ³	10	7,0	8,2
15	130	15—20	4 725 · 10 ³	15—40	7 144 · 10 ³	15	5,6	6,1
20	59	20—25	1 850 · 10 ³	20—40	2 419 · 10 ³	20	5,1	5,1
25	15	25—30	450 · 10 ³	25—40	569 · 10 ³	25	5,0	5,0
30	3	30—35	97 · 10 ³	30—40	119 · 10 ³	30	4,9	4,9
35	0,9	35—40	22 · 10 ³	35—40	22 · 10 ³	35	4,7	4,7
40	0	40—40	0	40—40	0	40	4,6	4,6

Apskaičiuosime šilumos apykaitos koeficientus 5-tosios, 10-tosios ir 15-tosios izobatos plokštumoms. Tam reikalui lygį (44) perrašysime tokiu būdu

$$A = \frac{q}{k \cdot \frac{db}{dz}} \quad (44b)$$

Šiuo atveju *q* bus (žr. 15 lentelę) šilumos kiekis, praeinąs pro *z* — izobatos plokštumos vieną cm² per vieną sekundę, *k* — vandens specifinė šiluma, o $\frac{db}{dz}$ vertikalinis temperatūros gra-

dientas. Skaičiuojant dydį q , reikia žinoti gylyje z šilumos kiekį Q_z , praėjusį per laiką t pro horizontalią plokštumą, kurios plotas f_z , o tam reikia žinoti Q_1 ir Q_2 , t. y., kokio didumo šilumos atsargų būta vandenyje, susitelkusiame žemiau izobatinio paviršiaus stebėjimo pradžios laiko momentu T_1 ir stebėjimo pabaigos momentu T_2 .

Aišku, kad šilumos kiekis, praėjęs pro plokštumą f_z per $t = T_2 - T_1$ laiko, bus

$$Q_z = Q_2 - Q_1,$$

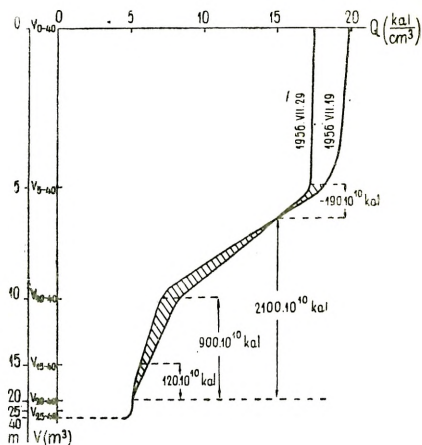
o šilumos kiekis, praėjęs pro vieną cm^2 per sek, bus

$$q = \frac{Q_2 - Q_1}{f_z t},$$

Lietuvos TSR ežerų druskingumas yra mažas, vanduo savo fizinėmis savybėmis nedaug skiriasi nuo destiliuoto vandens, todėl jo specifinę šilumą, norėdami supaprastinti skaičiavimą, laikysime visoms vandens temperatūroms lygią vienetui. Be to, vertikalinių temperatūros gradientą gylyje z pažymėsime τ_z . Tokiu būdu lygybė (44b), laikant ežero charakteristika vandens temperatūrą, o koncentracija — šilumos kiekį, persiformuos šitaip:

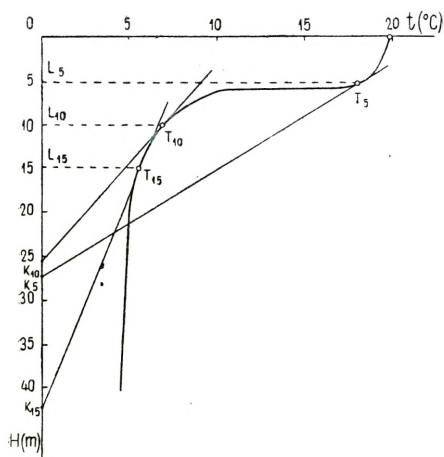
$$A = \frac{Q_2 - Q_1}{f_z t \tau_z}. \quad (44c)$$

$Q_2 - Q_1$ randamas grafiškai, pažymint vertikalinėje ašyje Aiseto ežero tūrius V_{0-40} , V_{5-40} , V_{10-40} ir t. t., o horizontalinėje ašyje — atitinkamų gylių kalorijų kiekius 1 cm^3 vandens. Faktiškai buvo žymimos 0, 5, 10, 15 m ir t. t. gylio vandens temperatūros reikšmės, gautos 1956.VII.19 ir 1956.VII.29 (žr. 16 lent.). Plotai tarp dviejų kreivių nuo jų susikirtimo netoli dugno iki reikiamos izobatos ir bus $Q_2 - Q_1$ reikšmės (žr. 54 pav.). Grafinius darbus atliekant, 1 mm horizontalinėje ašyje buvo



54 pav. $Q_2 - Q_1$ skaičiavimas grafiniu metodu

paimita 0,1 kal. Aiseto ežero tūris 53 144 000 m³ (žr. 16 lent.). Sudarant tūrių kreivę, teko vienam milimetrai imti 200 000 m³, arba $2 \cdot 10^5$ m³, arba $2 \cdot 10^5 \cdot 10^6 = 2 \cdot 10^{11}$ cm³. Tokiu būdu brėžinyje 1 mm² atitiko: $2 \cdot 10^{11} \cdot 0,1 = 2 \cdot 10^{10}$ kal.



55 pav. Temperatūros gradientų radimas pagal temperatūrinę kreivę stebėjimo pradžioje, 1956.VII.19

Vertikaliųjų temperatūros gradientų τ ir τ' reikšmės 5, 10 ir 15 m gylio izobatoms randamos grafiškai pagal stebėjimų pradžios ir pabaigos temperatūrines kreives (žr. 55 ir 56 pav.). Grafiniai darbai abiem atvejais buvo atliekami tuo pačiu masteliu, būtent horizontalinėje ašyje buvo paimita vienam milimetrai 0,1°C, o vertikalinėje — 0,2 m:

Pirmuoju atveju buvo gauti tokie temperatūriniai gradientai (žr. 16 lent. ir 55 brėž.):

$$\tau_5 = \frac{T_5 L_5}{K_5 L_5} = \frac{18^\circ\text{C}}{22,4 \cdot 100} = 0,0080 \text{ } ^\circ\text{C/cm}$$

$$\tau_{10} = \frac{T_{10} L_{10}}{K_{10} L_{10}} = \frac{7^\circ\text{C}}{15,6 \cdot 100} = 0,0045 \text{ } ^\circ\text{C/cm}$$

$$\tau_{15} = \frac{T_{15} L_{15}}{K_{15} L_{15}} = \frac{5,6^\circ\text{C}}{27,4 \cdot 100} = 0,0020 \text{ } ^\circ\text{C/cm}$$

Antruoju atveju buvo gauti temperatūriniai gradientai kitokie (žr. 16 lent. ir 56 brėž.):

$$\tau'_5 = \frac{T_5 L_5}{K_5 L_5} = \frac{0,3^\circ\text{C}}{5 \cdot 100} = 0,0006 \text{ } ^\circ\text{C/cm}$$

$$\tau'_{10} = \frac{T_{10} L_{10}}{K_{10} L_{10}} = \frac{8,2^\circ\text{C}}{8,8 \cdot 100} = 0,0092 \text{ } ^\circ\text{C/cm}$$

$$\tau'_{15} = \frac{T_{15} L_{15}}{K_{15} L_{15}} = \frac{6,1^\circ\text{C}}{20 \cdot 100} = 0,0030 \text{ } ^\circ\text{C/cm}.$$

Skaičiuodami koeficientą A , ėmėme atitinkamų izobatų stebėjimo pradžios ir pabaigos gradientų aritmetinius vidurkius.

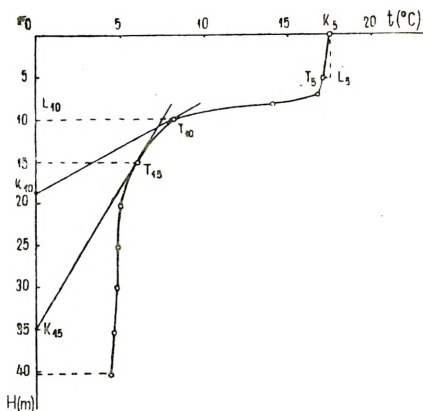
Masių apykaitos koeficiento A skaičiavimas pagal formulę (44c)

Izoba- ta (m)	Q_1-Q_2 (kal)	f_z (cm ²)	1956.VII.19 τ_z (°C/cm)	1956.VII.29 τ_z (°C/cm)	$\frac{\tau_z + \tau'_z}{2}$ (°C/cm)	t (sek)	A (g/cm · sek)
5	$1910 \cdot 10^{10}$	$368 \cdot 10^8$	0,0080	0,0006	0,0043	$864 \cdot 10^3$	0,14
10	$910 \cdot 10^{10}$	$239 \cdot 10^8$	0,0045	0,0092	0,0068	$864 \cdot 10^3$	0,08
15	$120 \cdot 10^{10}$	$130 \cdot 10^8$	0,0020	0,0030	0,0025	$864 \cdot 10^3$	0,04

1936.VIII.10—30 d. vandens temperatūros matavimo duomenimis, gautais Istros tvenkinyje, Muraveiskis apskaičiavo ir šilumos apykaitos koeficientus, kurie yra tos pačios eilės kaip ir mūsų apskaičiuoti. Iš lentelės matyti, kad šilumos turbulentinės apykaitos koeficientas yra žymiai didesnis už šilumos molekulinio laidumo koeficientą, kuris yra lygus 0,001 318.

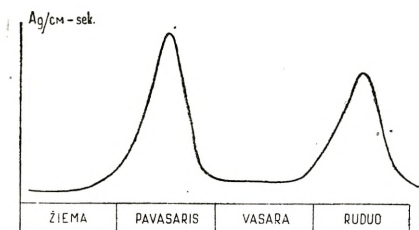
Tarybinis mokslininkas L. V. Keleris nurodė, kad masių apykaitos koeficientas gali būti laikomas bendru tik toms substancijoms, kurios sąmaišoje dalyvauja pasyviai, nesikeičia kiekybiškai. Tokios substancijos yra ištirpusios druskos, dujos, planktonas, pakibusios vandenyje mineralinės dalelės.

Tuo tarpu šilumai, judesio kiekiui turbulentinės apykaitos koeficientai negali būti tos pačios reikšmės ir net tos pačios eilės, nes judesio kiekio dalis, vykstant sąmaišai, panaudojama vidaus trinčiai nugalėti, o tam tikra šilumos dalis, keičiantis vandens temperatūros stratifikacijai, suvartojama turbulentiniam judesiui intensyvinti. Kelerio teorinius samprotavimus patvirtina turbulentinės apykaitos koeficientų skaičiavimai pagal tyrinėjimų duomenis. Pavyzdžiui, jūrose turbulentinės judesio kiekio



apykaitos koeficientas yra daug kartų didesnis už šilumos apykaitos koeficientą. Reikia manyti, kad šis koeficientų skirtumas ežeruose yra žymiai mažesnis. N. N. Zubovo nuomone, koeficientą A galima laikyti bendru visoms substancijoms, vykstant konvekcinei sąmaišai.

Kaip minėjome, masių apykaitos koeficientas priklauso nuo gylio ir laiko, t. y. jis keičiasi, pasikeitus gyliui, o taip pat keičiasi metų būvyje. V. Šmidtas, skaičiuodamas turbulentinės šilumos apykaitos koeficientus 5–20 m gylių intervale pagal temperatūrinius matavimus Lunco ežere, pastebėjo, kad liepos mėn. koeficientų reikšmės yra minimalinės (apie 0,01), o balandžio mėn. koeficientų reikšmės yra maksimalinės (apie



57 pav. Masių apykaitos koeficiento A metinė eiga (pagal Muraveiskį)

2,5). S. D. Muraveiskis sudarė A kitimo metų būvyje kreivę (žr. 57 pav.). Iš brėžinio matyti, kad pavasarį ir rudenį A pasiekia maksimumą, o žiemą ir vasarą A turi mažiausias reikšmes.

Turbulentiškumo koeficientas K . Turbulentinės šilumos apykaitos koeficientų reikšmės yra didžiausios 4–5 m gyliuose; einant gilyn koeficientų reikšmės smarkiai mažėja. Muraveiskio nuomone, apykaitos koeficiento A pirmasis minimumas nuo paviršiaus būna metalimnione, didelių vertikalinių temperatūros ir nuo jos priklausančio vandens tankio gradientų zonoje. Metalimnione vandens pagal tankį susisluoksniavimo pastovumas gana didelis ir jis vandens sąmaišą apsunkina.

$$\text{Lygybėje (44a), būtent } A = \frac{\Sigma mz - \Sigma mz}{ft},$$

masę m galima pakeisti tūriu V ir tankiu ρ , prisiminus, kad $m = \rho V$.

Taigi

$$A = \rho \frac{\Sigma Vz - \Sigma Vz}{ft}.$$

Pažymėjus

$$\frac{\Sigma V z - \Sigma V z}{ft} = K,$$

gaunama

$$A = qK,$$

o iš čia

$$K = \frac{A}{q} \text{ cm}^2/\text{sek.} \quad (45)$$

Masių apykaitos koeficientas A taikomas tada, kai turima reikalo su vandens masėmis. Kai operuojama su vandens tūriais, tai taikomas koeficientas K , kuris vadinamas *turbulentiškumo* koeficientu. Kadangi vandens tankis yra artimas vienetui, tai masių apykaitos koeficientas skaičiaus reikšme yra lygus turbulentiškumo koeficientui, bet tarpusavyje jie skiriasi, kaip matėme, dimensijomis.

g) Konvekcinė sąmaiša

Konvekcinė sąmaiša vyksta tada, kada viršutiniai ežero vandens sluoksniai yra tankesni negu apatiniai. Priežastys, dėl kurių viršutinių vandens sluoksnių tankis pasidaro didesnis už gilesnių vandens sluoksnių tankį, gali būti kelios. Vieną iš tokių priežasčių mes galime stebėti kasdieniniame gyvenime. Jeigu puodą su vandeniu uždėsime ant ugnies, tai apatiniai vandens sluoksniai greičiau sušils negu viršutiniai, jų tankis pasidarys mažesnis už viršutinių sluoksnių tankį, ir viršutiniai sluoksniai ims grimzti žemyn ir apatinius kelti aukštyn. Panašus reiškinys pasitaiko ir ežeruose, kai ežero dugne atsiveria šaltiniai, kurių temperatūra aukštesnė už viršutinių sluoksnių temperatūrą. Jeigu uždėtume ne puodą ant ugnies, o ugnį ant puodo, tai konvekcijos procesas nepasireikštų, nes sušilusio viršutinio sluoksnio tankis sumažėtų ir viršutinis sluoksnis jokių būdu nepajėgtų priversti kilti apatinį sluoksnį. Panašų atvejį stebime gamtoje vasarą, kada viršutiniai vandens sluoksniai yra žymiai šiltesni už apatinius, ir nuolatinės konvekcijos tada kaip ir nėra.

N. N. Zubovas elementariškai konvekciją, arba konvekcinę sąmaišą, šitaip atvaizduoja. Sakysime, kad dėl kurių nors veiksnių viršutinio vandens sluoksnio tankis ima didėti. Drauge ims mažėti tarp viršutinio ir apatinio sluoksnio pastovumas;

netrukus pasieks jis nulinę reikšmę, o pagaliau ir neigiamąją. Tada viršutinis sunkesnis vanduo ims grimzti ir versti apatinio sluoksnio vandenį kilti, nes jis lengvesnis.

Jeigu tie veiksniai viršutinį sluoksnį paveikia ilgesnį laiką, tai cirkuliacija darosi uždara.

Lietuvos TSR klimatinėmis sąlygomis konvekcijos procesas vyksta intensyviausiai pavasarį ir rudenį. Pavasarį, suirus ledo dangai, viršutinis vandens sluoksnis su temperatūra arti nulio yra šildomas. Kol viršutinio vandens temperatūra neperžengs 4° , tol to sluoksnio tankis didės, ir susidarys palankios sąlygos konvekcijai pasireikšti. Konvekcija išsivysto ne iš karto visoje ežero vandens masėje, o palaipsniui. Iš pradžių vyksta tik tokio storio sluoksnyje, kurio apatinės ribos temperatūra yra lygi ežero paviršiaus temperatūrai. Vykstant tolesniam viršutinio vandens sluoksnio šildymui, konvekcija skverbiasi gilyn, kol pagaliau pasiekia ežero dugną, t. y. ateina laikotarpis, kada konvekinė sąmaiša vyksta visoje ežero masėje. Atėjus šiai konvekcijos stadijai, vandens temperatūra ištisoje vertikalėje išsilygina, pasireiškia ežere pavasarinė homotermija. Pavasarinė ežero homotermija paprastai įvyksta po to, kai vandens paviršiaus temperatūra susilygina su priedugninių vandens sluoksnių temperatūra. Pvz., Vilniaus rajono Kryžiuočių ežere 1951 m. pavasarį homotermija pasireiškė, esant vandens paviršiaus temperatūrai $3,7^{\circ}\text{C}$. Nepriklausomai nuo temperatūros, kuriai esant pasireiškia tame ar kitame ežere pavasarinė homotermija, homotermijos periodas trunka tol, kol viršutinis vandens sluoksnis pasieks temperatūrą 4°C . Per tą laikotarpį vyksta nuolatinė konvekinė sąmaiša visoje ežero vandens masėje. Pakilus viršutinio sluoksnio temperatūrai aukščiau 4°C , viršutiniai sluoksniai pasidaro lengvesni už apatinius, ir aprašyto tipo konvekcija pranyksta. Jei ežere ledas pavasarį pasilieka be sniego dangos, tai konvekinė sąmaiša gali prasidėti, dar neištirpus ledui: saulės spinduliai, prasiskverbę pro ledą, greitai kelia viršutinio vandens sluoksnio temperatūrą ir tuo didina to sluoksnio tankį: po ledu susidaro šiuo atveju šiltadaržio klimatinės sąlygos.

Minėto tipo konvekcija pasikartoja rudenį, tačiau temperatūrinis intervalas, kuriame vyksta rudens konvekinė sąmaiša, yra žymiai didesnis ir konvekcijos laikotarpis ilgesnis. Priklausomai nuo priedugninių sluoksnių temperatūros rudeninė homotermija gali prasidėti, esant 5° , 6° ir aukštesnei vandens

paviršiaus temperatūrai, bet visais atvejais konvekcija trunka iki tol, kol vandens paviršiaus temperatūra nenukris iki 4°C, kada vandens tankis yra maksimalinis. Atvėsus ežero paviršiui labiau, paviršinis vandens sluoksnis darosi lengvesnis už apatinius, konvekinė sąmaiša lėtėja, kol pagaliau visai išnyksta.

Šio tipo konvekciją pavasarį komplikuoja pratakiniuose ežeruose kitokio pobūdžio konvekcija, susijusi ne su terminio režimo pakitimu, bet su pakibusių mineralinių dalelių kiekio padidėjimu paviršiniuose sluoksniuose. Lietuvoje yra nemaža pratakinių ežerų, kaip Dubingių, Sartų, kurių intakai pavasarį turi didelius tėkmės greičius, aukštus vandens horizontus. Tokie intakai suneša į ežerus didelius mineralinių dalelių kiekius, kelia paviršinių sluoksnių drumstumą. Dėl to paviršiniai sluoksniai, pasidarę sunkesni už apatinius sluoksnius, grimzta žemyn, o apatiniai kyla aukšty.

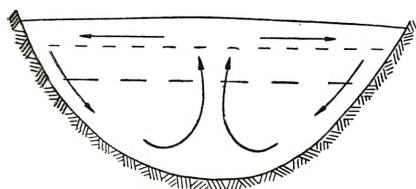
Aprašomoji terminė konvekcija Lietuvos ežeruose pasitaiko ir kitais metų laikais: vasarą, žiemą, tačiau, apskritai imant, ji tada vyksta paviršiniuose sluoksniuose ir jos trukmė yra trumpa. Dažnai Lietuvoje pasitaiko dieną giedri, šilti, bet palyginti vėjuoti orai, o naktį vėsūs, giedri, be jokio vėjo orai. Esant tokioms orų sąlygoms, dienos metu ežeras banguoja, vyksta epilimniono sluoksnyje intensyvi vandens sąmaiša. Tada ežere nuo paviršiaus iki 5—7 m įsivyrąja beveik homotermija. Tuo tarpu naktį, ežero paviršius pasidaro veidrodinis, o dėl ežero šilumos išspinduliavimo, garavimo ir dėl šilumos turbulentinės apykaitos su atmosfera, vandens paviršiaus temperatūra gali vienu ir net daugiau laipsnių nukristi už vandens temperatūrą 2,5 m ir net 5 m gylyje. Dėl to, savaime suprantama, prasideda konvekcijos procesas, kuris pranyksta kitos dienos pirmoje pusėje, pakilus saulei ir priėjus vėjui.

Lietuvos ežeruose egzistuoja ir kitokios formos terminė konvekcija. Visiems yra žinoma, kad žiemos pradžioje pirmiausia užšąla ežero pakraščiai, o pavasarį ežero pakraščiuose yra ploniausia ledo danga. Tai reiškia, kad rudenį ežero pakraščiu vanduo greičiau atvėsta, o pavasarį greičiau įšyla negu centrinė ežero paviršiaus dalis. Tokiu būdu rudenį pakraščiuose paviršinio vandens sluoksnio tankis yra didesnis už centrinės dalies paviršinio sluoksnio tankį. Dėl tos priežasties susidaro konvekinė vandens cirkuliacija, pavaizduota 58 pav.

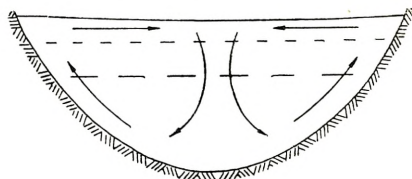
Pavasarij, priešingai, pakraščiuose paviršinių sluoksnių tankis yra mažesnis už centrinės dalies paviršinių sluoksnių tankį ir dėl to konvekcinė (tankuminė) vandens cirkuliacija įgauna tokį pobūdį, kaip tat parodyta 59 pav.

Šios formos tik žymiai mažesnio intensyvumo terminė konvekcija pasitaiko ir kitais metų laikais. Pvz., tokia vandens cirkuliacija vasarą pasikartoja vienos paros būvyje.

Terminė konvekcija, kuri susidaro dėl greitesnio pakraštinių sluoksnių atvėsimo ir įšilimo už centrinius sluoksnius, Lie-



58 pav. Vandens cirkuliacijos schema (rudeni)



59 pav. Vandens cirkuliacijos schema (pavasari)

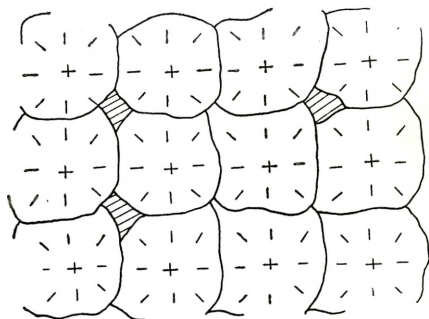
tuvos ežerų gyvenime vaidintų nedidelį vaidmenį, jei šios konvekcijos nepalaikytų ir nesuintensyvintų gruntiniai vandenys.

Preliminariniai skaičiavimai rodo, kad kai kurių ežerų (Aiseto, Ančios) vandens balanse gruntinių vandenų komponentui tenka 50% ir daugiau viso ežero gaunamo vandens per metus. Be to, ežero dubenys, būdami nepralaidžiamame vandeniui substrate, turi gruntinių vandenų išėjus pakraščiuose. Dėl tos priežasties kai kurių ežerų pakraščių vandens temperatūra net vasaros sezone nepakyla aukščiau 11–12°C, tuo tarpu kai ežero viduryje vandens paviršiaus temperatūra siekia 20° ir daugiau laipsnių. Yra Lietuvoje ežerų, kaip Žeimenos, kurių kai kurios dalys neužšąla net šalčiausiu žiemos metu. Vietos žmonių teigimu, tokiose vietose žiemoja antys. Visa tai rodo, kad dėl gruntinių vandenų veiklos kai kurių ežerų pakraštinių vandens sluoksnių tankis beveik visų metų būvyje gerokai skiriasi nuo centrinės dalies vandens tankio, todėl antros formos terminė konvekcija Lietuvos kai kuriuose ežeruose vyksta nenutrūkstamai ir labai intensyviai. Kokio intensyvumo gali būti šios formos konvekcinė sąmaiša Lietuvoje, galima spręsti kad ir iš tokio fakto: Ančios ežero 26 m gylyje 1957 m. liepos mėnesį vandens temperatūra

buvo net 8°C , tuo tarpu Vilniaus rajono Kryžiuočių ežero 15 m gylyje tuo pačiu metu vandens temperatūra tesiekė $4^{\circ},6$, o 25 m gylyje tik $4^{\circ},3$.

Konvekinė sąmaiša yra žymiai sudėtingesnė, negu ji čia buvo aprašyta, o visame ežere, pvz., rininiame ežere, kur yra didelis gylių, atšlainių polinkių svyravimas, turi būti gerokai paini. Nereikia pamiršti,

kad paprastai vienos formos konvekciją „dengia“ kitos formos konvekcija ir tuo visą procesą komplikuoja. Pats konvekcijos procesas palyginti mažai ištirtas. Benaras tyrė laboratorinėmis sąlygomis konvekcijos procesą, kai paviršinio sluoksnio tankis buvo didinamas, intensyvinant vandens pavir-



60 pav. Vandens dalelių judėjimas Benaro ląstelėse

šiaus garavimą. Pasirodė, kad paviršinis vandens sluoksnis suskyla į „konvekcines ląsteles“ (žr. 60 pav.), kurių centre vandens dalelės kyla aukštyn, o „ląstelių“ pakraščiuose leidžiasi žemyn. Šis konvekcijos mechanizmas pastebimas ir gamtos sąlygomis. 1947 m. IX. 6—7 d. šį reiškinį stebėjo ir nufotografavo E. G. Archipova ir T. V. Ržeplickis Kliazmos tvenkinyje. Pagal jų matavimo duomenis ląstelių diametrai buvo 10—15 cm ilgio.

Tenka pastebėti, kad konvekcijos proceso greitis priklauso nuo vandens temperatūros. Jei vandens temperatūra aukštesnė, tai konvekcija vyksta sparčiau, jei žemesnė, tai lėčiau, nes molekulinis klampumas, esant aukštesnėms temperatūroms, mažesnis, o esant žemesnėms — didesnis.

Konvekinė sąmaiša jūrose siekia 200—250 m gylio. Lietuvos giliausio Tauragnų ežero didžiausias gylis siekia tik 60,5 m. Iš to galima spręsti, kad konvekinė sąmaiša pasiekia visų Lietuvos ežerų priedugninius sluoksnius.

Kaip minėjome, konvekinė sąmaiša vyksta, esant turbulentiniam vandens dalelių judesiui. O tai reiškia, vykstant konvekcijai, kartu su vandens dalelėmis permaišomos ir kitos ežere esančios substancijos: druskos, dujos, maisto medžiagos ir t. t.,

o tai turi didelę reikšmę organiniam pasauliui. Dėl konvekcinės sąmaišos mūsų ežeruose organizmai gyvena ne tik paviršiniuose vandens sluoksniuose, bet ir priedugniniuose bei pačiame dugne.

N. N. Zubovas siūlo šilumos kiekį k , išreikštą kalorijomis vienam cm^2 , kurį reikalinga atiduoti atmosferai, kad konvekcinė sąmaiša nuo paviršinių sluoksnių pasiektų dugną, laikyti ežero ventiliacijos rodikliu. Juo to rodiklio reikšmė bus mažesnė, tuo anksčiau, esant kitoms pastovioms sąlygoms, prasidės priedugninių sluoksnių ventiliacija ir tuo tie sluoksniai labiau atsinaujina.

Kalbėdami apie konvekcinę sąmaišą, mes turėjome omenyje vandens cirkuliaciją vertikalinėje plokštumoje. Bet kokia vandens cirkuliacija gali vykti ir horizontalinėje plokštumoje. Nors konvekcija vyksta horizontalinėje plokštumoje sparčiau negu vertikalinėje, nes nereikia priešintis svorio jėgai, vis dėlto ji mažiau reikšminga už vertikalinę konvekciją, nes ji paliečia tik pačius paviršinius ežero vandenį.

h) Dinaminė sąmaiša

Dinaminė sąmaiša yra susijusi su bangavimu, su reiškiniais, kuriuos sukelia vėjai ir intakai. Ypačiai svarbios kompensacinės srovės, nes jos teka didelėje gilumoje.

N. N. Zubovas dinaminę sąmaišą šitaip atvaizduoja. Sakysime, kad virš ramaus ežero vandens paviršiaus ima pūsti vėjas. Vėjas pučia turbulentiškai, dėl to oro slėgis į ežero vandens paviršių susidaro nelygus,— čia stipresnis, čia silpnesnis. Dėl tos priežasties susidaro iš pradžių bangelės, o vėliau, ypač vėjui ne tik kad ne silpnėjant, bet dar stiprėjant, ima risti bangos. Kai vėjas dar pasmarkėja, tai bangų kitos ima virsti, pati banga irti, griūti, susidaro sūkuriai, kurie pasiekia vis didesnę ir didesnę gylį. Tokiu būdu vyksta dinaminė, vėjo sukelta, ežero vandens sąmaiša.

Dėl didelio nuolatinio vėjo viršutinis ežero sluoksnis ima tekėti, virsta srove. Viršutinis sluoksnis verčia banguoti po juo esantį sluoksnį, nes jis su tuo sluoksniu betarpiškai susiliečia ir jo paviršių nevienodai slegia, t. y. elgiasi taip, kaip su juo elgėsi vėjas (61 pav.).

Vykstant bangavimui, atskiros vandens dalelės juda orbitomis, kurių diametrai, einant gilyn, mažėja. O tai reiškia, kad ir dalelių linijiniai greičiai gilesnėse vietose turi būti mažesni. Be to, esant tik taisyklingam bangavimui, dalelių orbitos bus apskritimai, o šiaip jos yra elipsės ir, be to, dar neuždaros, nes, kaip matėme, vėjas vandens daleles verčia judėti į priekį. Dėl to susidaro paviršiniuose vandens sluoksniuose nevienodo dydžio ir krypties greičiai. Taigi tuose sluoksniuose atsiradę greičių gradientai verčia vandens masę judėti, maišytis. Tekant vandeniui, žymūs greičių gradientai susidaro pakrantėse, prie dugno, sąlytyje su kitomis vandens masėmis. Pagaliau pačioje srovėje egzistuoja, kad ir maži, greičių gradientai. Kadangi dalelių greičiai gali būti bet kurios krypties, tai, vykstant bangavimui ar tekant srovei, atsiranda vertikalūs ir horizontalūs gradientai: vanduo maišosi horizontalinėje ir vertikalinėje plokštumoje.



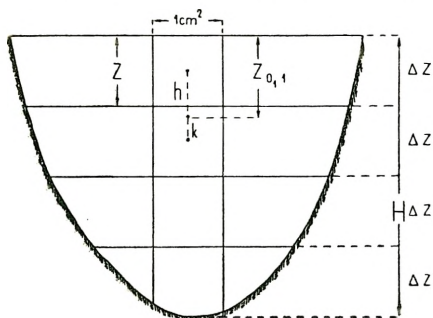
61 pav. Sūkurių susidarymo žemesnio vandens sluoksniu paviršiuje schema (N. N. Zubovas)

Dinaminės sąmaišos mastas priklauso nuo vėjo stiprumo, nuo jo pūtimo trukmės, nuo vandens sluoksnių pastovumo ir pagaliau nuo ežero paviršiaus matmenų. Maksimalinė sąmaiša pasireiškia Lietuvos ežeruose iki 2,5–5 m gylio, nes tame sluoksnyje susidaro didžiausi greičių gradientai. Jei ežeras yra sekus, kaip Žverno ežeras, tai ten vanduo permaišomas iki pat dugno. Gilesniuose ežeruose, kaip tai rodo temperatūriniai matavimai, paviršinio vandens sluoksniu storis, kur vandens temperatūra ir tankis yra maždaug vienodi, pasiekia vasaros metu 5–8 metrų gylį. Gilesniuose sluoksniuose dideli tankių gradientai neleidžia dinaminei sąmaišai skverbtis. Antra vertus, labai dažnai 20–25 m gylyje vasaros metu vandens temperatūra yra vienu ir daugiau laipsnių aukštesnė už 4°C, o žiemos metu žemesnė už 4°C. Tai leidžia spėti, kad šalia konvekcinės sąmaišos dinaminė sąmaiša veikia Lietuvoje ir giluminius sluoksnius.

Šmidto sprendimas. Maksimalinė dinaminė sąmaiša visoje ežero vertikalėje pasireiškia pavasarį ir rudenį, o taip pat ir žiemą, jei ežeras neužšalęs. Tais laikotarpiais ežero vandens sluoksnių

pasipriešinimas dinaminei sąmaišai yra nedidelis. Pvz., 1957.XI.26 Kryžiuočių ežero vienodo tankio paviršinio sluoksnio storis, I. Klimkaitės temperatūros matavimo duomenimis, siekė 20 m, o 1957.IX.11 — tik 5 m.

Dinaminės sąmaišos mastas priklauso nuo ežero paviršiaus matmenų, nuo krantų aukščio, nuo situacijos. Daugelis Lietuvos ežerų, būdami rininės kilmės, yra siauri, aukštais krantais,



62 pav. Vertikalinis ežero piūvis:
matyti vandens stulpelis, kurio aukštis H ,
pagrindas 1 cm^2 ; stulpelis suskaidytas sluoksniais Δz storio

apaugusiais mišku. Tokiuose ežeruose dinaminė sąmaiša, esant vienodiems vėjo greičiams, nevienodai pasireiškia. Jei vėjas pučia išilgai didžiosios ežero ašies, sąmaiša bus maksimalinė. Pučiant vėjui statmenai ežero ašiai, dinaminė sąmaiša bus nedidelė. Ji bus dar mažesnė, jei ežerą dengia miškas. Lietuvoje vyrauja pietvakarių ir šiaurės vakarų vėjai.

Jie maišo intensyviai vandenį tų rininių ežerų, kurių didžiausios ašys yra vakarų rytų krypties.

Saulės spinduliai nevienodai žemės paviršių įšildo. Šis reiškinys kaip tik yra pagrindinė vėjų priežastis. Be to, vandenynų paviršius yra švelnesnis, o žemynų šiurkštesnis, tai vandenynuose oro masės gali slinkti nesutikdamos kliūčių. Todėl vandenynų vėjai yra reguliaresni ir stipresni negu žemynų, ir ežerai negali patirti tokio vėjo poveikio, kokį patiria okeanai ir jūros. Žinoma, daug reikšmės turi ežero padėtis, forma ir dydis.

Apskaičiuosime vėjo darbą, reikalingą vandens sluoksniams sumaišyti, kad juose susidarytų vienoda temperatūra ir tankis. Tam reikalui suskirstykime nehomogeninę vandens masę horizontalinėmis plokštumomis į homogeninius sluoksnius. Paprastumo dėlei paimsime vienodo storio Δz sluoksnius. Be to, iš visos vandens masės išskirsime vandens stulpą su pagrindu 1 cm^2 ploto (62 pav.).

Sakykime, kad pirmojo sluoksnio tankis q_1 , antrojo — q_2 , trečiojo — q_3 , ir n -jo — q_n . Rasime vėjo darbą, reikalingą pir-

miesiems dviem stulpo sluoksneliams sumaišyti. Kadangi tie sluoksneliai yra homogeniški, tai jų svorio centrai bus įstrižainių sankryžoje. Bendras sluoksnelių svorio centras prieš sumaišymą bus kažkur antrajame sluoksnyje (antrasis sluoksnelis sunkesnis). Jo nuotolį nuo ežero paviršiaus pažymėkime $z_{0,1}$. Pažymėkime pirmojo sluoksnelio svorio centro atstumą nuo bendro svorio centro h ir jo masę m_1 , o antrojo — atstumą k ir jo masę m_2 . Taigi galime rašyti:

$$\frac{k}{h} = \frac{m_1}{m_2}, \text{ arba } \frac{k+h}{h} = \frac{m_1+m_2}{m_2}.$$

Iš čia

$$h = \frac{(k+h)m_2}{m_1+m_2}.$$

Iš brėžinio matome, kad $k+h=\Delta z$. Be to, Δz — storis sluoksnio, kurio pagrindo plotas lygus 1 cm^2 ; taigi $\Delta z \cdot 1 \text{ cm}^2$ reiškia stulpelio tūrį. Tokiu būdu $m_1 = \rho_1 \Delta z$ ir $m_2 = \rho_2 \Delta z$. Todėl

$$h = \frac{\rho_2}{\rho_1 + \rho_2} \Delta z.$$

Taigi

$$z_{0,1} = \frac{\Delta z}{2} + \frac{\rho_2}{\rho_1 + \rho_2} \Delta z,$$

arba

$$z_{0,1} = \frac{3\rho_2 + \rho_1}{2(\rho_1 + \rho_2)} \Delta z.$$

Kai abu sluoksneliai bus susimaišę, tada jų svorio centro atstumas z nuo vandens paviršiaus (anksčiau tokius atstumus reiškėme simboliu S_0) bus lygus Δz . Vertikalinį atstumą tarp šių abiejų bendrų svorių pažymėkime σ . Jo reikšmė bus

$$\sigma = z_{0,1} - \Delta z = \frac{3\rho_2 + \rho_1}{2(\rho_1 + \rho_2)} \Delta z - \Delta z,$$

arba

$$\sigma = \frac{\rho_2 - \rho_1}{2(\rho_1 + \rho_2)} \Delta z.$$

Darbas, reikalingas pakelti svorio centrui prieš sumaišymą iki svorio centro po sumaišymo, bus*

$$R_2 = m\sigma,$$

* Svorio jėga reiškiama svorio gramais.

kur

$$m = m_1 + m_2, \text{ arba } m = \Delta z(q_1 + q_2).$$

Tai

$$R_2 = \Delta z(q_1 + q_2) \cdot \frac{q_2 - q_1}{2(q_1 + q_2)} \Delta z,$$

arba

$$R_2 = \frac{1}{2} (q_2 - q_1) \Delta z^2.$$

Panašiai samprotaudami, rasime vėjo darbą, reikalingą pirmiesiems dviem, jau sumaišytiems, sluoksniams sumaišyti su trečiuoju. Tas darbas bus

$$R_3 = \frac{1}{2} [(q_3 - q_1) + (q_3 - q_2)] \Delta z^2;$$

.....
.....

ir pagaliau su n-ju sluoksneliu

$$R_n = \frac{1}{2} [(q_n - q_1) + (q_n - q_2) + \dots + (q_n - q_{n-1})] \Delta z^2,$$

arba

$$R_n = \frac{1}{2} [(n-1)q_n - (q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_{n-1})] \Delta z^2 \text{ (g} \cdot \text{cm)}. \quad (46)$$

Tai kaip tik yra V. Šmidto formulė vėjo darbui apskaičiuoti dinaminėje sąmaišoje.

1956 m. VII.20 Aiseto ežero giliausios vertikalės temperatūros stratifikacija buvo tiesioginė. Po to įvyko didžiulė audra, kurios metu vanduo iki 7 m gylio buvo visiškai permaišytas: visame 0—7 m gylių intervale temperatūra pasidarė 17°C, tuo tarpu kai prieš audrą vandens paviršiaus temperatūra siekė 19°C, o 7 m gylyje 10°, 6C.

Apskaičiuokime vėjo darbus, kuriuos teko panaudoti, permaišant paeiliui paviršinio 1 m storio ir 1 cm² pagrindo vandens sluoksnį su antruoju 1 m storio ir 1 cm² ploto, toliau pirmuosius du su trečiuoju 1 m storio ir 1 cm² ploto ir t. t. Skaičiavimo eiga ir rezultatai surašyti 18 lentelėje.

18 lentelėje penktosios skilties skaičiai yra aritmetiniai greitimų trečiosios skilties skaičių vidurkiai.

Duomenys vėjo darbui R apskaičiuoti pagal formulę (46)

Gylis z (m)	Temperatūra (°C) 1956.VII.20	Q_z (g/cm ³)	Sluoksnių storis (m)	Sluoksnių tankis $Q_1 \dots Q_n$	$\frac{1}{2} \Delta z^2$ (cm ²)	$(n-1) Q_n - (Q_1 +$ $+ Q_2 + \dots + Q +$ $+ Q_{n-1})$ (g/cm ³)	R_n (g.cm)
0	19,2	0,998394	0—1	0,998404	$5 \cdot 10^3$	0	0
1	19,1	0,998414	1—2	0,998434	$5 \cdot 10^3$	$30 \cdot 10^{-6}$	0,150
2	18,9	0,998453	2—3	0,998472	$5 \cdot 10^3$	$106 \cdot 10^{-6}$	0,530
3	18,7	0,998491	3—4	0,998520	$5 \cdot 10^3$	$250 \cdot 10^{-6}$	1,250
4	18,4	0,998549	4—5	0,998623	$5 \cdot 10^3$	$662 \cdot 10^{-6}$	3,310
5	17,6	0,998696	5—6	0,998865	$5 \cdot 10^3$	$1872 \cdot 10^{-6}$	9,360
6	15,6	0,999034	6—7	0,999353	$5 \cdot 10^3$	$4800 \cdot 10^{-6}$	24,000
7	10,6	0,999672	7—7	0,999672	0	$7033 \cdot 10^{-6}$	0

Berdžo sprendimas. Berdžas tik ką nagrinėtą klausimą sprendė atvirkštiniu būdu, būtent, kiek reikia darbo, norint maksimalinio gylio, 1 cm^2 pagrindo, vėjo sumaišyto vandens stulpo svorio centrą nuleisti gilyn iki vandens stulpo svorio centro, buvusio prieš sumaišymą. Savaimė suprantama, kad tas darbas yra lygus vėjo darbui, kuris buvo panaudotas stulpo vandenims sumaišyti.

Suskaidykime visą vandens stulpą vienodo storio stulpeliais, pažymėdami kiekvieno stulpelio storį Δz , o jų svorio centrų atstumus nuo vandens paviršiaus $z_1, z_2, z_3, \dots, z_n$. Be to, stulpelių mases pažymėkime $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$, tankius prieš sumaišymą $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \dots, \rho_n$ ir po sumaišymo ρ .

Homogeninio stulpo svorio centro atstumas nuo vandens paviršiaus bus

$$S_0 = \frac{\sum_{k=1}^n z_k m_k}{M}.$$

Kadangi $m_k = \rho \Delta z$, todėl

$$S_0 = \frac{\sum_{k=1}^n \rho z_k \Delta z}{M}. \quad (a)$$

Prieš sumaišymą stulpo svorio centras bus giliau. Taigi jo atstumas nuo ežero paviršiaus bus

$$S = \frac{\sum_{k=1}^n \rho_k z_k \Delta z}{M}. \quad (b)$$

Darbas, reikalingas homogeninio stulpo svorio centrui nuleisti iki stratifikuoto stulpo svorio centro, bus

$$R_v = M(S_0 - S). \quad (c)$$

Iš lygybių (a), (b), (c) gauname:

$$R_v = \sum_{k=1}^n (\rho - \rho_k) z_k \Delta z. \quad (d)$$

Ieškant vėjo darbo atskirose ežero vertikalėse pagal išvestą formulę (d), reiktų vertikalės gylio temperatūros matuoti prieš sumaišymą ir po vandens sumaišymo. Tai, žinoma, komplikuoja

dinaminės sąmašos tyrimus. Todėl Berdžas prilygino q vienetui, ir formulė (d) įgavo tokį pavidalą

$$R_v = \sum_{k=1}^n (1 - q_k) z_k \Delta z,$$

arba pakeitus ribas ir indeksus:

$$R_v = \sum_0^H (1 - q_z) z \Delta z. \quad (47)$$

Šiuo atveju užtenka tam tikruose vertikalės taškuose išmatuoti vandens temperatūras, pagal jas iš lentelės rasti tankius ir pagal Berdžo formulę skaičiuoti vėjo atliktą darbą maišant vandenį vienoje vertikalėje iki norimo gylio. Užtat pačios formulės interpretacija darosi dirbtinė, būtent formulė (47) parodo, kiek reikia sunaudoti darbo, kad 4°C vandens stulpą „sušildytų“ iki temperatūrinės stratifikacijos, randamos matavimu.

Sudauginus reiškinių $(1 - q_k) z_k \Delta z$ su k -tosios izobatos plotu $f(z_k)$ ir sandaugas susumavus, gaunamas vėjo darbas, reikalingas „sušildyti“ ežero 4°C vandeniui iki reikiamos vandens temperatūrinės stratifikacijos. Šis darbas lygus

$$\sum_{k=1}^n (1 - q_k) z_k f(z_k) \Delta z.$$

Padaliję jį iš ežero ploto $f(0)$, gausime vėjo darbą vidutiniškai visam ežerui į vieną kv. centimetrą, būtent:

$$R = \frac{1}{f(0)} \sum_{k=1}^n (1 - q_k) z_k f(z_k) \Delta z. \quad (47a)$$

Imant Δz kaip norima mažą, gaunamas integralas:

$$R = \frac{1}{f(0)} \int_0^H (1 - q_z) z f(z) dz,$$

arba, kadangi $f(0) = a_0$, o $f(z) = a_z$,

$$R = \frac{1}{a_0} \int_0^H (1 - q_z) z a_z dz, \quad (47b)$$

o tai yra plačiai žinomas limnologinėje literatūroje Berdžo integralas. Jo grafinis sprendimas mažai skiriasi nuo mūsų aprašyto V. Šmidto integralo sprendimo. Pirmiausia reikia nubrėžti tūrių kreivę, pažymint horizontalinėje ašyje ežero tūrį nuo ežero paviršiaus iki maksimalinio gylio H , toliau nuo

pirmos izobatos iki maksimalinio gylio, nuo antros izobatos iki maksimalinio gylio ir t. t., o vertikalinėje ašyje gylius $z_1, z_2, z_3, \dots, H$.

Formulėje (47b) $a_z dz = dV$. Iš grafiko, kaip tat parodyta 63 pav., randamos integralo $\int_{z_k}^H z a_z dz = \int_{z_k}^H z dV$ reikšmės, būtent: plotas AOB bus lygus integralo $\int_0^H z dV$ reikšmei;

$$\text{pl. } AODC = \int_{z_1}^H z dV;$$

$$\text{pl. } AOF E = \int_{z_2}^H z dV;$$

$$\text{pl. } AOKG = \int_{z_3}^H z dV; \text{ ir t. t.}$$

Toliau brėžiamas antras grafikas, kur horizontalinėje ašyje pažymimos $(1-q_0), (1-q_1), (1-q_2)$ ir t. t. reikšmės, o vertikalinėje ašyje — rastos iš pirmojo grafiko $\int_{z_k}^H z a_z dz$ reikšmės.

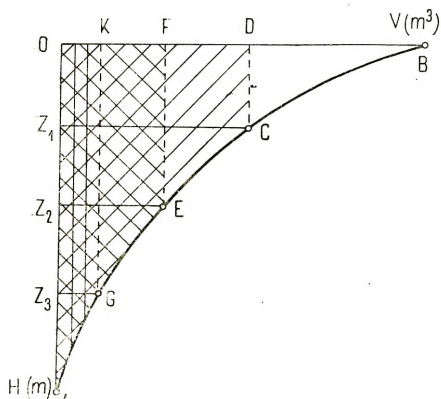
Plotas tarp koordinatų ašių ir tankio kreivės bus vėjo darbas visam ežerui, o padalijus iš ežero ploto — darbas vienam kv. centimetrui. Berdžo integralas parodo, kad dinaminėje sąmaišoje vėjo darbas priklauso nuo ežero formos, o tai Lietuvos sąlygomis turi ypatingą reikšmę.

Zubovo formulė. N. N. Zubovas vėjo darbui skaičiuoti pasiūlė tokią empirinę formulę:

$$R = k \omega^2 t, \quad (48)$$

kur k — tam tikras proporcingumo koeficientas, ω —

vėjo greitis, t — laikas. Formulė labai paprasta, bet nėra patikimų duomenų, iš kurių būtų galima nustatyti proporcingumo koeficientą k .



63 pav. Tūrių kreivė, kurios reikia integralo $\int_{z_k}^H z dV$ reikšmėms rasti

i) Tvarkingoji sąmaiša

Gamtoje stebima ypatinga vandens sąmaiša, vadinama tvarkingąja. Pagal vėjo kryptį vandens paviršiuje susidaro ruožai, kuriuose susikaupia putos, lapai ir kiti plaukiantieji daiktai. Ruožai eina lygia greta ir vienodu nuotoliu. Ruožai būna aiškiai matomi, bet neretai juos maskuoja bangelės ir bangos. Atskirų ruožų plotis siekia 20—50 cm. Atstumas tarp ruožų svyruoja gana plačiai: nuo 1—2 sekliuose ežeruose ligi kelių dešimtų metrų giliuose. Ruožai būna pastovūs, išsilaiką kelias valandas. Kai kada čia atsiranda, čia išnyksta. Jei pasikeičia vėjo kryptis, tai ir ruožų kryptis pasikeičia. Ruožų kryptis visada sutampa su vėjo kryptimi. Ypačiai gražius ir ryškius tokius putų ruožus vieną kartą teko stebėti Amalvo ežere.

Tvarkingoji sąmaiša yra pastebėta gana seniai, bet tyrinėti pradėta dar visai neseniai. Patirta, kad čia daug reikšmės turi konvekciniai procesai. Taigi tvarkingąją sąmaišą sąlygoja kitos sąmaišos rūšys.

k) Sąmaiša po ledo danga

Nesunku suprasti, kad sąmaiša po ledo danga turi būti silpnė negu neuždengtame ežere. Pro ledą ežero vandenis sunkiau pasiekia atmosferos temperatūros svyravimai, taip pat pro ledą ežero vandens negali veikti vėjas, sukelti bangas bei srovės. Vis dėlto sąmaiša vyksta ir po ledu, ypačiai jei dugne yra atsivėrusių šaltinių, pavyzdžiui Žuvinto ežere. Be to, ir žiemą vanduo įteka į ežerą ir išteka.

3. V. CHOMSKIO PASTANGOS PRAPLESTI IR PAGILINTI ŽINIAS APIE EŽERO VANDENŲ DINAMINES SĄLYGAS IR JŲ SĄSĄYJĮ SU EŽERO DUBENS FORMA

Pagrindiniai nuopelnai ežero vandenų pastovumo ir sąmaišos srityje, be abejo, priklauso V. Šmidtui ir B. A. Berdžui. Jų pavardėmis pavadinti ir integralai (41a) ir (47b):

$$D = \int_0^H (\varrho_z - 1) (z - S_0) dV \quad (\text{Šmidto integralas})$$

ir

$$R = \frac{1}{a_0} \int_0^H (1 - \varrho_z) z a_z dz \quad (\text{Berdžo integralas}).$$

Dydis D yra, kaip jau žinome, vandens masės pastovumo rodiklis, o dydis R — dinaminės, arba vėjo, sąmaišos rodiklis. Rodikliai D ir R reiškia vėjo darbą.

Čia pat prisiminsime ir turbulentinės sąmaišos lygtį (44):

$$q = kA \frac{dh}{dz},$$

kuri gali turėti ir tokią formą:

$$f(s) = -A \frac{ds}{dz},$$

kur $f(s)$ — bet kurios substancijos su charakteristika s (žr. 15 lent.) srautas pro ploto vienetą ir per laiko vienetą, $\frac{ds}{dz}$ — vertikalinis charakteristikos s gradientas ir A — masių apykaitos koeficientas [žr. form. (44a)].

Šmidto, Berdžo ir kitų darbus Tarybų Rusijoje stengėsi praplėsti ir patikslinti S. D. Muraveiskis, B. D. Zaikovas ir B. B. Bogoslovskis, o Tarybų Lietuvoje — V. Chomskis. Šiame skyrelyje su jo pastangomis nors iš dalies susipažinsime.

V. Chomskio pastangos prasideda nuo tik ką primintų pastovumo ir dinaminės sąmaišos rodiklių, o taip pat nuo turbulentinės sąmaišos lygties ir nuo norminių kūnų (cilindro, elipsoido, paraboloido, konuso) batigrafinių kreivių, redukuotų į vienodus pagrindus, ir tūrių kreivių. Batigrafinės kreivės, redukuotos į vienodus pagrindus, Lietuvos limnologijoje priėjo ir suteikė tai limnologijai savitą pobūdį. Čia prisimintina iš morfometrijos skyriaus 5 lentelė, kurioje yra surašytos batigrafinių ir tūrių kreivių lygtys.

a) Dinaminis tūrio koeficientas

V. Chomskis savo darbo uždaviniu laiko — „pasinaudojant ankstyvesniais limnologiniais ir morfometriniais darbais, o taip pat savo patyrimu, susieti realias ežerų dubenų formas su taisyklingomis, nurodyti pastarųjų vaidmenį vandens masės dinamikoje ir rasti būdą palyginti vieno ežero dinamines sąlygas su kito ežero sąlygomis, kai vandens tankio eiga (o tai Lietuvoje dažnai pasitaiko) maksimalaus gylio vertikalėje tam tikrą datą yra maždaug vienoda“. Tokį uždavinį vykdant, naudojamosi dinaminio tūrio koeficiento sąvoka.

Pastebėta, kad jei ežerų plotai ir didžiausi gyliai yra vienodi ir jei tankio funkcijos parametrai vienodi, tai cilindrinio ežero vandens masės pastovumo ir dinaminės sąmaišos rodikliai bus didžiausi. Kitos formos ežerų pastovumo ir dinaminės sąmaišos rodikliai, esant tapatingai tankio eigai, turės visuo-
met mažesnes reikšmes. Taigi, norint panaudoti formules (42) ir (47), t. y. formules

$$D_v = \sum_0^H (q_z - 1) (z - 0,5 H) \Delta z,$$

ir

$$R_v = \sum_0^H (1 - q_z) z \Delta z,$$

bet kurios formos ežerams, nepažeidžiant palyginamumo principo, reikia jas dauginti iš tam tikro skaičiaus, kuris parodo, kelintą dalį cilindro pastovumo ir dinaminės sąmaišos apima tiriamasis ežeras. Kitaip sakant, reikia surasti bet kurios formos ežero dinaminių sąlygų rodiklių santykį su lygiapločio ir lygiagylio cilindrinio ežero atitinkamais rodikliais, vandens tankio eigai esant abiejų ežerų didžiausio gylio vertikalėse viennodai. Toks santykis kaip tik yra dinaminis tūrio koeficientas. Jį simboliškai galima išreikšti tokiu būdu:

$$\frac{k}{c}, \frac{p}{c}, \frac{e}{c},$$

kur c reiškia cilindro dinamines sąlygas, k — konuso, p — paraboloido, e — puselipsoidžio. Su šio koeficiento išskaičiavimu ir pritaikymu vandens masės pastovumo ir sąmaišos (dinaminės, turbulentinės) rodikliams skaičiuoti netrukus susipažinsime.

- b) Ežerų, kurių dubens forma taisyklinga, vandens masės pastovumo rodiklių skaičiavimas grafiniu metodu

Visų pirma įsidėmėtinos pradinės sąlygos, kurių tenka laikytis, norint palyginti cilindro, puselipsoidžio, paraboloido ir konuso formų reikšmę vandens masės pastovumui. Tos sąlygos tokios:

- 1) visų ežerų paviršiaus plotai ir didžiausi gyliai yra lygūs
- 1, t. y. vienetui;

2) tam tikrai datai visų ežerų didžiausio gylio vertikalėje tankio ρ eiga yra identiška.

Tokiu atveju vandens masės pastovumo rodiklio formulė taip atrodoys:

$$D = \int_0^1 (\rho_z - 1) (z - S_0) dV;$$

čia ρ_z — vandens tankis z gylyje, S_0 — homogeninio vandens svorio centro gylis, dV — tūrio elementas. S_0 cilindriui, puselipsoidžiui, paraboloidui ir konusui sužymėti morfometrijos skyriuje 4 lentelėje, būtent: $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{8}$, $\frac{1}{3}$ ir $\frac{1}{4}$. Skaičiavimui gyliai ir vandens tankio ρ_z reikšmės parinkta pagal Kryžiuočių ež. didžiausio gylio vertikalės temperatūrinius matavimus, kurių duomenys surašyti 19 lentelėje.

Toliau sprendžiamas cilindriui, puselipsoidžiui, paraboloidui ir konusui integralas $\int_z^1 (z - S_0) dV = W$, įstatant atitinkamas S_0 reikšmes. Tūrio elemento dV išraiška gaunama diferencijuojant morfometrijos skyriuje 5 lentelėje sužymėtas funkcijas V_z^T , būtent:

$$V_z^c = 1 - z, \quad dV_z^c = -dz;$$

$$V_z^e = \frac{1}{3} (2 - 3z + z^3), \quad dV_z^e = -(1 - z^2) dz;$$

$$V_z^p = \frac{1}{2} (1 - 2z + z^2), \quad dV_z^p = -(1 - z) dz;$$

ir

$$V_z^k = \frac{1}{3} (1 - 3z + 3z^2 - z^3), \quad dV_z^k = -(1 - 2z + z^2) dz;$$

Gaunamos tokios integralo W reikšmės:

Cilindriui

$$W_z^c = - \int_z^1 \left(z - \frac{1}{2} \right) dz,$$

$$W_z^c = - \frac{1}{2} z (1 - z); \quad (a)$$

Puselipsoidžiui

$$W_z^e = - \int_z^1 \left(z - \frac{3}{8} \right) (1 - z^2) dz,$$

$$W_z^e = - \frac{1}{8} z (2z^3 - z^2 - 4z + 3); \quad (b)$$

Kryžiuočių ež. vandens temperatūros ir tankiai

Gylis z	t°C 1957.I.17	Qz	Qz-1	t°C 1957.V.7.	Qz	Qz-1	t°C 1957.VII.12	Qz	Qz-1
0	0,5	0,999900	— 100 · 10 ⁻⁶	9,9	0,999736	— 264 · 10 ⁻⁶	19,2	0,998394	— 1 606 · 10 ⁻⁶
$\frac{1}{8}$	1,85	0,999963	— 37 · 10 ⁻⁶	8,3	0,999857	— 143 · 10 ⁻⁶	16,5	0,998888	— 1 112 · 10 ⁻⁶
$\frac{1}{4}$	2,3	0,999977	— 23 · 10 ⁻⁶	6,1	0,999965	— 35 · 10 ⁻⁶	6,6	0,999947	— 53 · 10 ⁻⁶
$\frac{3}{8}$	2,7	0,999987	— 13 · 10 ⁻⁶	4,6	0,999997	— 3 · 10 ⁻⁶	4,6	0,999997	— 3 · 10 ⁻⁶
$\frac{1}{2}$	3,0	0,999992	— 8 · 10 ⁻⁶	4,15	0,999999	— 1 · 10 ⁻⁶	4,4	0,999999	— 1 · 10 ⁻⁶
$\frac{5}{8}$	3,2	0,999995	— 5 · 10 ⁻⁶	4,1	0,999999	— 1 · 10 ⁻⁶	4,3	0,999999	— 1 · 10 ⁻⁶
$\frac{3}{4}$	3,4	0,999997	— 3 · 10 ⁻⁶	4,0	1,000000	0	4,2	0,999999	— 1 · 10 ⁻⁶
$\frac{7}{8}$	3,6	0,999999	— 1 · 10 ⁻⁶	4,0	1,000000	0	4,1	0,999999	— 1 · 10 ⁻⁶
1	3,7	0,999999	— 1 · 10 ⁻⁶	4,0	1,000000	0	4,0	1,000000	0

Paraboloidui

$$W_z^p = - \int_z^1 \left(z - \frac{1}{3} \right) (1-z) dz,$$

$$W_z^p = - \frac{1}{3} z(1-z)^2; \quad (c)$$

Konusui

$$W_z^k = - \int_z^1 \left(z - \frac{1}{4} \right) (1-2z+z^2) dz,$$

$$W_z^k = - \frac{1}{4} z(1-z)^3. \quad (d)$$

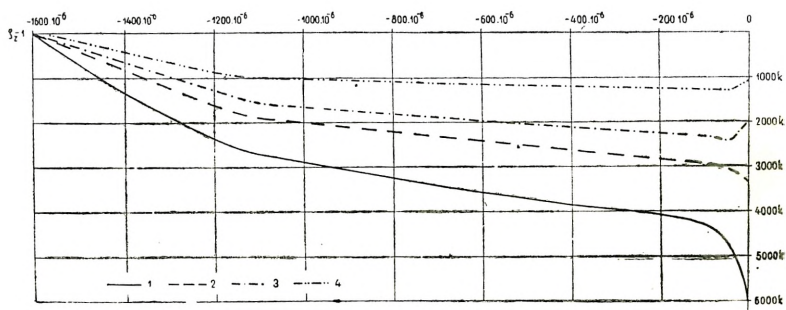
Ištačius į formules (a), (b), (c) ir (d) dydžio z reikšmes iš 19 lentelės, apskaičiuojama atitinkamų taisyklingų kūnų W . Skaičiavimo duomenys surašyti 20 lentelėje.

20 lentelė

Integralo — $W = \int_z^1 (z-S_0) dV$ reikšmės

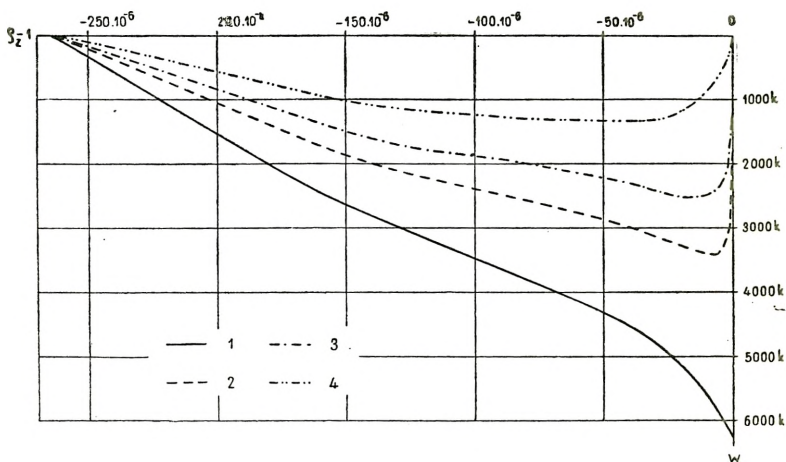
Gylis z	$-W^c$	$-W^e$	$-W^p$	$-W^k$	Pastaba
0	0	0	0	0	Visų reikšmių bendras vardiklis $k = \frac{1}{49\,152}$
$\frac{1}{8}$	$\frac{7}{128}$	$\frac{1}{4} \cdot \frac{637}{4096}$	$\frac{1}{6} \cdot \frac{49}{256}$	$\frac{1}{12} \cdot \frac{1029}{4096}$	
$\frac{1}{4}$	$\frac{12}{128}$	$\frac{1}{4} \cdot \frac{1008}{4096}$	$\frac{1}{6} \cdot \frac{72}{256}$	$\frac{1}{12} \cdot \frac{1296}{4096}$	
$\frac{3}{8}$	$\frac{15}{128}$	$\frac{1}{4} \cdot \frac{1125}{4096}$	$\frac{1}{6} \cdot \frac{75}{256}$	$\frac{1}{12} \cdot \frac{1125}{4096}$	
$\frac{1}{2}$	$\frac{16}{128}$	$\frac{1}{4} \cdot \frac{1024}{4096}$	$\frac{1}{6} \cdot \frac{64}{256}$	$\frac{1}{12} \cdot \frac{768}{4096}$	
$\frac{5}{8}$	$\frac{15}{128}$	$\frac{1}{4} \cdot \frac{775}{4096}$	$\frac{1}{6} \cdot \frac{45}{256}$	$\frac{1}{12} \cdot \frac{405}{4096}$	
$\frac{3}{4}$	$\frac{12}{128}$	$\frac{1}{4} \cdot \frac{432}{4096}$	$\frac{1}{6} \cdot \frac{24}{256}$	$\frac{1}{12} \cdot \frac{144}{4096}$	
$\frac{7}{8}$	$\frac{7}{128}$	$\frac{1}{4} \cdot \frac{133}{4096}$	$\frac{1}{6} \cdot \frac{7}{256}$	$\frac{1}{12} \cdot \frac{21}{4096}$	
1	0	0	0	0	

Pagal 19 ir 20 lentelių duomenis yra nubrėžtos $W(z)$, kreivės (žr. 64, 65 ir 66 pav., kuriuose $k = \frac{1}{49\,152}$ — bendras vardiklis). Plotai tarp kreivių ir koordinatų ašių yra atitinkamų taisyklingos formos ežerų vandens masės pastovumo rodikliai.



64 pav. Vandens masės pastovumas liepos mėn.

Plotas tarp kreivės 1 ir koordinatų ašių reiškia cilindrinio ežero pastovumą; plotas tarp kreivės 2 ir k. ašių — puselipsoidžio formos ež.; plotas tarp kreivės 3 ir k. ašių — paraboloido; pagaliau plotas tarp kreivės 4 ir k. ašių — konuso

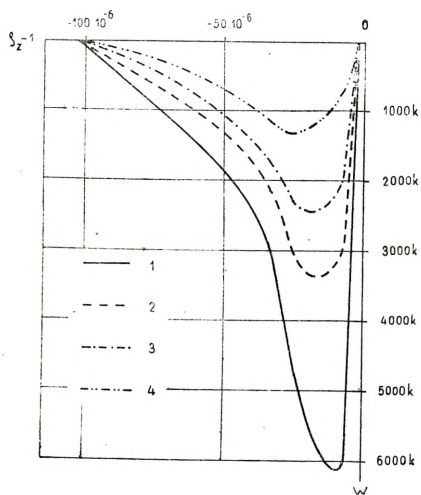


65 pav. Vandens masės pastovumas gegužės mėn.

Plotas tarp kreivės 1 ir koordinatų ašių reiškia cilindrinio ež. pastovumą; plotas tarp kreivės 2 ir k. ašių — puselipsoidžio formos ež.; plotas tarp kreivės 3 ir k. ašių — paraboloido; pagaliau plotas tarp kreivės 4 ir k. ašių — konuso

64 pav. vaizduoja pastovumo rodiklius vasaros metu (1957.VII.2), kada ežere būna susiformavęs temperatūrinis šuolis, o šiltesni vandens sluoksniai būna virš šaltesnių, t. y. kada

būna susidariusi tiesioginė temperatūrinė stratifikacija. Skirtumas tarp paviršinio ir priedugninio sluoksnio temperatūrų yra lygus 15° , 2°C . Lyginant jį su 65 ir 66 pav., nesunku pastebėti, kad pastovumo rodikliai vasaros metu yra didžiausi, tik reikia nepamiršti, kad 64 pav. q_z-1 ašyje mastelis yra keturgubai



66 pav. Vandens masės pastovumas sausio mėn.

Plotas tarp kreivės 1 ir koordinatų ašies reiškia cilindrinio ež. pastovumą; plotas tarp kreivės 2 ir k. ašies — puselipsoidžio formos ež.; plotas tarp kreivės 3 ir k. ašies — paraboloido; pagaliau plotas tarp kreivės 4 ir k. ašies — konuso

mažesnis už mastelį 65 ir 66 pav. Grafiniai darbai buvo atliekami skiriant 5 centimetrus $q-1$ ašyje 64 pav.— $200 \cdot 10^{-6}$, o 65 ir 66 pav. po — $50 \cdot 10^{-6}$; — W ašyje visuose trijuose brėžiniuose skirta 2,5 cm po 1000 k. Išplanimetravus plotus tarp kreivių ir koordinatų ašies, randami dinaminiai tūrio koeficientai, t. y. santykiai puselipsoidžio, paraboloido ir konuso vandens masės pastovumo rodiklių su cilindro pastovumo rodikliu.

Skaiciavimo duomenys surašyti 21 lentelėje. Iš jų matyti, kad puselipsoidžio dinaminiam tūrio koefi-

cientui visais atvejais galima imti skaičių 0,7, paraboloido — 0,5 ir konuso — 0,3.

21 lentelė

Dinaminiai tūrio koeficientai pastovumui skaičiuoti

Formos pavadinimas	Din. tūrio koef. žiemą	Din. tūrio koef. pavasarį	Din. tūrio koef. vasarą
Puselipsoidis	0,63	0,67	0,67
Paraboloidas	0,50	0,51	0,52
Konusas	0,29	0,32	0,30

c) Taisyklingos formos ežerų dinaminės sąmaišos rodiklių skaičiavimas grafiniu metodu

Prisilaikant pradinių sąlygų, nurodytų ankstesniame skyrelyje, dinaminės sąmaišos formulė įgauna tokį pavidalą:

$$R = \int_z^1 (1 - q_z) z a_z dz,$$

nes a_0 ir H lygu 1. Skaičiuojant R , pirmiausia reikia išspręsti visiems taisyklingos formos ežerams integralą

$$\int_z^1 z a_z dz = Y.$$

Tam reikalui vietoje a_z dedame iš 5 lentelės atitinkamas funkcijas a_z^T , būtent:

$$a_z^c = 1,$$

$$a_z^e = 1 - z^2,$$

$$a_z^p = 1 - z$$

ir

$$a_z^k = 1 - 2z + z^2.$$

Gauname tokias integralo Y reikšmes:

Cilindrui

$$Y_z^c = \int_z^1 z dz,$$

$$Y_z^c = \frac{1}{2} (1 - z^2); \quad (a)$$

Puselipsoidžiui

$$Y_z^e = \int_z^1 z (1 - z^2) dz,$$

$$Y_z^e = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} - z^2 + \frac{1}{2} z^4 \right), \quad (b)$$

Paraboloidui

$$Y_z^p = \int_z^1 z (1 - z) dz,$$

$$Y_z^p = \frac{1}{6} - \frac{1}{2} z^2 + \frac{1}{3} z^3; \quad (c)$$

$$Y_z^k = \int_z^1 z(z^2 - 2z + 1) dz,$$

$$Y_z^k = \frac{1}{12} - \frac{1}{4} z^4 + \frac{2}{3} z^3 - \frac{1}{2} z^2; \quad (d)$$

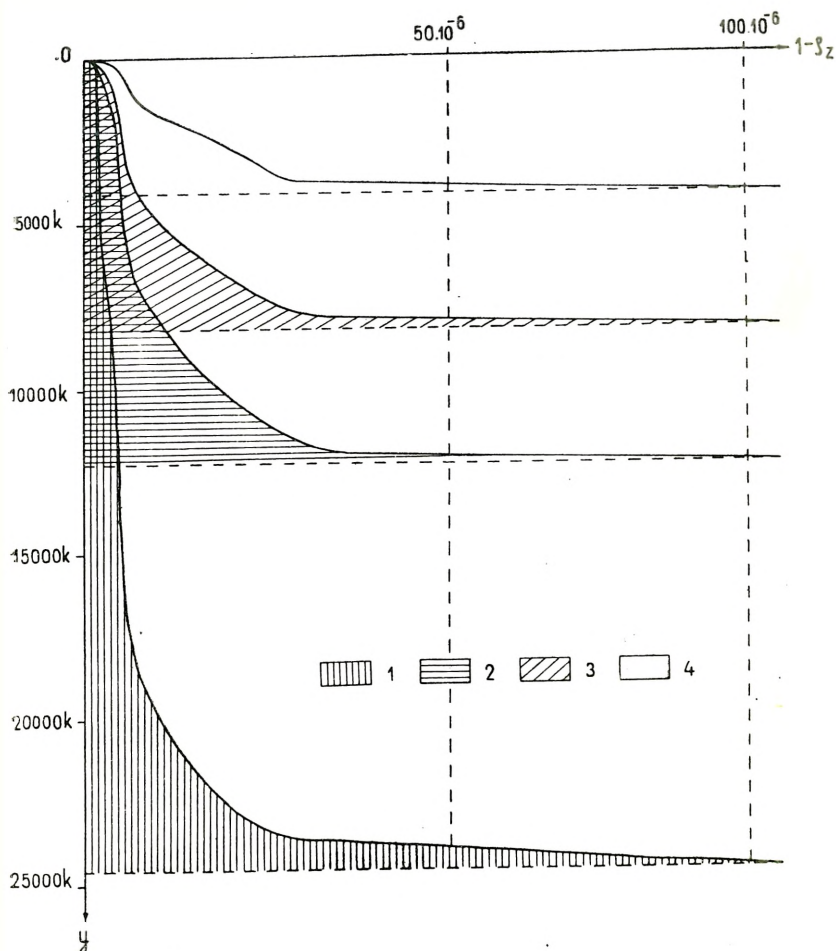
Imami gyliai $0, \frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{3}{8}, \frac{1}{2}, \frac{5}{8}, \frac{3}{4}, \frac{7}{8}, 1$ ir iš formulių (a), (b), (c), (d) išskaičiuojamos integralų atitinkamos reikšmės. Skaičiavimo duomenys surašyti 22 lentelėje.

22 lentelė

Integralo $Y = \int_z^1 z a_z dz$ reikšmės

Gylis z	Y^c	Y^e	Y^p	Y^k	Pastaba
0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{12}$	Visų reikšmių bendras vardiklis $k = \frac{1}{49\,152}$
$\frac{1}{8}$	$\frac{63}{128}$	$\frac{1}{4} \cdot \frac{3969}{4096}$	$\frac{1}{6} \cdot \frac{245}{256}$	$\frac{1}{12} \cdot \frac{3773}{4096}$	
$\frac{1}{4}$	$\frac{60}{128}$	$\frac{1}{4} \cdot \frac{225}{256}$	$\frac{1}{6} \cdot \frac{27}{32}$	$\frac{1}{12} \cdot \frac{189}{256}$	
$\frac{3}{8}$	$\frac{55}{128}$	$\frac{1}{4} \cdot \frac{3025}{4096}$	$\frac{1}{6} \cdot \frac{175}{256}$	$\frac{1}{12} \cdot \frac{2126}{4096}$	
$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4} \cdot \frac{9}{16}$	$\frac{1}{6} \cdot \frac{1}{2}$	$\frac{1}{12} \cdot \frac{5}{16}$	
$\frac{5}{8}$	$\frac{39}{128}$	$\frac{1}{4} \cdot \frac{1521}{4096}$	$\frac{1}{6} \cdot \frac{81}{256}$	$\frac{1}{12} \cdot \frac{621}{4096}$	
$\frac{3}{4}$	$\frac{7}{32}$	$\frac{1}{4} \cdot \frac{49}{256}$	$\frac{1}{6} \cdot \frac{5}{32}$	$\frac{1}{12} \cdot \frac{13}{256}$	
$\frac{7}{8}$	$\frac{15}{128}$	$\frac{1}{4} \cdot \frac{225}{4096}$	$\frac{1}{6} \cdot \frac{11}{256}$	$\frac{1}{12} \cdot \frac{29}{4096}$	
1	0	0	0	0	

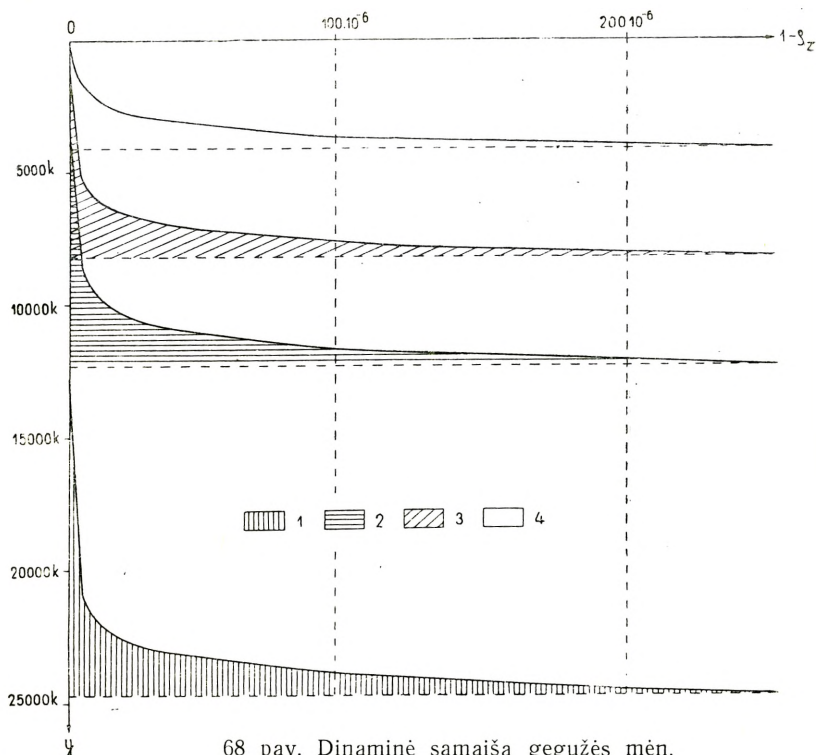
Pasinaudojant 19 ir 22 lentelių duomenimis, sudaromi taisyklingos formos ežerų dinaminės sąmaišos rodiklių grafikai (žr. 67, 68 ir 69 pav.), kurie yra figūros, apribotos vandens tankio kreivėmis ir koordinatų ašimis. Y žymimi abscisų ašyje, o $1 - q_z$ — ordinatų. Grafiniai darbai buvo atliekami, ski-



67 pav. Dinaminė sąmaiša sausio mėn.

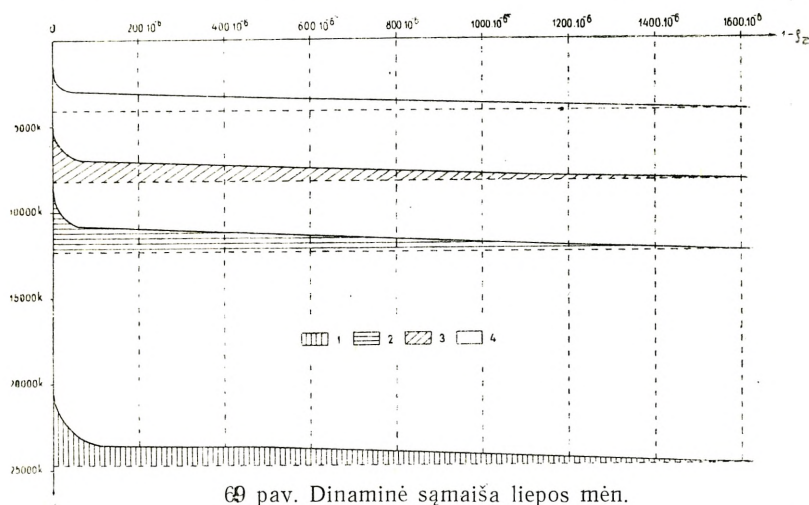
Plotas tarp kreivės 1 ir absc. a. reiškia cilindrinio ež. dinaminę sąmaišą; plotas tarp kreivės 2 ir absc. a. — puselipsoidžio formos ež.; plotas tarp kreivės 3 ir absc. a. — paraboloido; pagaliau plotas tarp kreivės 4 ir absc. a. — konuso

riant 67 brėžinyje — 10 centimetrų $50 \cdot 10^{-6}$ ir 10 000 k $\left(k = \frac{1}{46\,152}\right)$,
 68 brėžinyje — 10 centimetrų $100 \cdot 10^{-6}$ ir 10 000 k ir 69 brė-
 žinyje — 5 cm $200 \cdot 10^{-6}$ ir 5 000 k. Išplanimetravus figūrų plo-
 tus ir padalijus iš cilindrinio ežero figūros ploto, gaunami di-
 naminės sąmaišos dinaminiai tūrio koeficientai. Jie surašyti 23
 lentelėje.



68 pav. Dinaminė sąveika gegužės mėn.

Plotas tarp kreivės 1 ir absc. a. reiškia cilindrinio ež. dinaminę sąveiką; plotas tarp kreivės 2 ir absc. a. — puselipsoidžio formos ež.; plotas tarp kreivės 3 ir absc. a. — paraboloido; pagaliau plotas tarp kreivės 4 ir absc. a. — konuso



69 pav. Dinaminė sąveika liepos mėn.

Plotas tarp kreivės 1 ir absc. a. reiškia cilindrinio ež. dinaminę sąveiką; plotas tarp kreivės 2 ir absc. a. — puselipsoidžio formos ež.; plotas tarp kreivės 3 ir absc. a. — paraboloido; pagaliau plotas tarp kreivės 4 ir absc. a. — konuso

Dinaminiai tūrio koeficientai dinaminei sąmaišai skaičiuoti

Formos pavadinimas	Din. tūrio koef. sausio mėn.	Din. tūrio koef. gegužės mėn.	Din. tūrio koef. liepos mėn.
Puselipsoidis	0,77	0,90	0,98
Paraboloidas	0,56	0,80	0,90
Konusas	0,39	0,62	0,69

Iš 23 lentelės aišku, kad dinaminiai tūrio koeficientai vėjo sąmaišos atveju priklauso nuo vandens tankio eigos didžiausio gylio vertikalėje. Betgi artėjant tankio eigai į vidurvasarį, dinaminės sąmaišos rodiklis kaskart mažiau priklauso nuo ežero formos. Praktiškai elipsoidinio ežero rodiklis vasaros metu yra lygus cilindrinio ežero dinaminės sąmaišos rodikliui.

d) Masių apykaitos koeficientas A ir ežero dubens forma

Iš turbulentinės sąmaišos lygties $f(s) = -A \frac{ds}{dz}$ gauname:

$$A = - \frac{f(s)}{\frac{ds}{dz}}, \quad (a)$$

kur A — masių apykaitos koeficientas, $f(s)$ bet kurios substancijos srautas, s — limnologinė charakteristika (temperatūra, tankis ir t. t., — žr. 15 lentelę), $\frac{ds}{dz}$ — charakteristikos gradientas. Ženklas — (minus) rodo, kad substancijos srautas imamas su + (pliuso) ženklu josios mažėjimo linkme.

Masių apykaitos koeficientas A randamas iš temperatūros matavimo vertikalėje duomenų tam tikrame laikotarpyje. Laiko tarpas tarp dviejų vandens temperatūros matavimo datų imamas 5—10 dienų. Žinant pasirinktų vertikalės taškų temperatūros skirtumus, galima apskaičiuoti šilumos kiekį q , praėjusį pro z_k gylio izobatos plotą a_{z_k} per laiko tarpą T tarp dviejų temperatūros matavimo datų. Tuo būdu prieinama tokia formulė:

$$A = - \frac{q}{a_{z_k} T \frac{dt}{dz}}, \quad (b)$$

kur $\frac{dt}{dz}$ — vertikalinis temperatūros gradientas.

Tyrinėjant ežero dubens formos įtaką masių apykaitos koeficientui A , laikomasi šių pradinių sąlygų:

1) taisyklingos formos ežerų didžiausi gyliai ir paviršiaus plotai vienodi ir lygūs 1 (vienetui);

2) z_k gylio temperatūriniai gradientai visuose ežeruose yra identiški.

Pažymėjus dinامينius tūrio koeficientus raide d ir atsižvelgus į formulę (b), rašoma:

Puselisoidžiui

$$d^e = \frac{q^e}{a_{z_k}^e} : \frac{q^c}{a_{z_k}^c} = \frac{a_{z_k}^c}{a_{z_k}^e} \cdot \frac{q^e}{q^c}; \quad (c)$$

Paraboloidui

$$d^p = \frac{q^p}{a_{z_k}^p} : \frac{q^c}{a_{z_k}^c} = \frac{a_{z_k}^c}{a_{z_k}^p} \cdot \frac{q^p}{q^c}; \quad (d)$$

Konusui

$$d^k = \frac{q^k}{a_{z_k}^k} : \frac{q^c}{a_{z_k}^c} = \frac{a_{z_k}^c}{a_{z_k}^k} \cdot \frac{q^k}{q^c}. \quad (e)$$

Šilumos kiekis q , perėjęs per laiko tarpą T pro z_k gylio izobatos plotą a_{z_k} yra lygus

$$q = \int_{z_k}^1 \tau_z dV, \quad (f)$$

kur τ_z — temperatūrų skirtumas z gylyje tarp dviejų matavimo datų.

Šilumos kiekis q skaičiuojamas grafiniu metodu. Abscisų ašyje žymimos integralo $\int_{z_k}^1 dV$ reikšmės, o ordinatų — τ_z reikšmės. Plotas tarp kreivės ir koordinatų ašių kaip tik reikš q . Specifinė vandens šiluma paprastai laikoma vienetu. Savaime aišku, kad, reiškiant tūrį cm^3 , o temperatūrą $^{\circ}\text{C}$, šilumos kiekis bus skaičiuojamas kalorijomis.

Reikia pastebėti, kad nėra reikalo brėžti pagal vertikalės temperatūros dviejų datų kreives, ieškoti toliau ežero šilumos atsargų ir nustatyti tų atsargų skirtumus. Daug racionaliau betarpiškai brėžti pagal dviejų datų temperatūrų skirtumus kreivę, nes plotas tarp josios ir koordinatų ašių kaip tik reikš

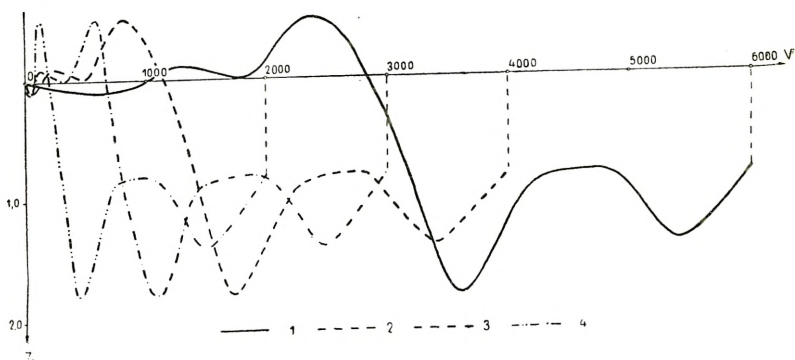
šilumos kiekį q . Tai pailiustruojama pavyzdžiu, pateikiant duomenis 24 lentelėje.

24 lentelė

Temp. skirtumo τ ir integralo $\int_z^1 dV$ reikšmės

Gylis z	Tem- pera- tūra 1957. VIII.9	Tem- pera- tūra 1957. VIII.13	τ	$\int_z^1 dV$				Pastaba
				cilindras	puselip- soidis	paraboli- das	konusas	
0,0	20,6	21,4	0,8	6000 k	4000 k	3000 k	2000 k	$k = \frac{1}{6000}$
0,1	19,4	20,8	1,4	5400 k	3402 k	2430 k	1458 k	
0,2	19,0	19,8	0,8	4800 k	2816 k	1920 k	1024 k	
0,3	17,5	18,4	0,9	4200 k	2254 k	1470 k	726 k	
0,4	11,4	13,2	1,8	3600 k	1728 k	1080 k	432 k	
0,5	9,7	10,0	0,3	3000 k	1250 k	750 k	250 k	
0,6	9,7	9,2	-0,5	2400 k	832 k	480 k	128 k	
0,7	8,8	8,8	0,0	1800 k	486 k	270 k	54 k	
0,8	8,5	8,4	-0,1	1200 k	224 k	120 k	16 k	
0,9	8,2	8,3	0,1	600 k	58 k	30 k	2 k	
1,0	8,2	8,2	0,0	0 k	0 k	0 k	0 k	

Iš 70 pav. nesunku pastebėti, kad visų taisyklingų formų temperatūrinių kreivių eigos viena į kitą panašios,— todėl, kad



70 pav. Temperatūrinės kreivės:

1 — cilindrinio ež.; 2 — puselipsoidžio formos; 3 — paraboloido; 4 — konusinio

priedugniniuose sluoksniuose, jei ežeras pakankamai gilus, temperatūros kitimas visų metų būvyje yra nežymus. Taigi santykis (atitinkas $q^e : q^c$ ir t. t.)

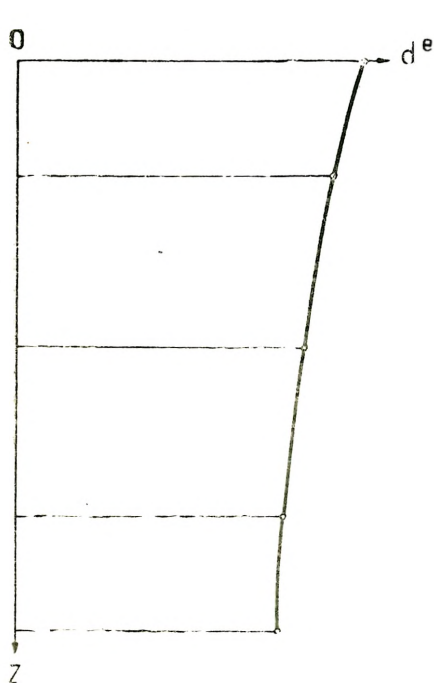
$$\int_{z_k}^1 \tau_z dV : \int_{z_k}^1 dV$$

gali būti laikomas lygiapločiams ir lygiagyliams ežerams, esant vienodiems temperatūrų skirtumams, pastoviu. Todėl pasirėmus formulėmis (c), (d), (e), (f), (g) ir prisiminus 5 lentelės duomenis, t. y. batigrafinių ir tūrių kreivių lygtis, rašoma:

$$d^e = \frac{1}{1 - z_k^2} \cdot \frac{\frac{1}{3} (2 - 3z_k + z_k^3)}{1 - z_k},$$

$$d^p = \frac{1}{1 - z_k} \cdot \frac{\frac{1}{2} (1 - 2z_k + z_k^2)}{1 - z_k},$$

$$d^k = \frac{1}{(1 - z_k)^2} \cdot \frac{\frac{1}{3} (1 - 3z_k + 3z_k^2 - z_k^3)}{1 - z_k},$$



arba

$$d^e = \frac{2 + z_k}{3(1 + z_k)}, \quad (h)$$

$$d^p = \frac{1}{2}, \quad (i)$$

$$d^k = \frac{1}{3}. \quad (k)$$

Atliekant grafinius darbus skirta 70 pav. abscisų ašyje 10 centimetrų 2000 k ($k = \frac{1}{6000}$), o ordinatų ašyje 5 centimetrams 1°C .

Iš formulių (i) ir (k) aiškėja, kad paraboloido ir konuso formos ežeruose, esant vertikalėje indentiškiems temperatūros skirtumams, masių apykaitos koeficientai bet kuriame gylyje atitinkamai 2 ir 3 kartus yra mažesni už ci-

71 pav. Dinaminio tūrio koeficiento d^e kreivė

lindrinio ežero koeficientus. Tuo tarpu puselipsoidžio formos ežere masių apykaitos koeficientas, einant gilyn, mažėja cilindrinio ežero koeficiento atžvilgiu taip, kaip parodyta 71 paveikslėlyje.

*

Apskaičiuoti ežero vandens masės pastovumo ir dinaminės sąmaišos dinaminiai tūrio koeficientai yra susiję su atskirų datų vandens tankio eiga didžiausio gylio vertikalėje. Nors tos datos parinktos iš būdingų ežero gyvenimo tarpu, bet vis dėlto daryti tam tikroms išvadoms trijų atvejų maža.

Norint turėti nagrinėjamu klausimu platesnę orientaciją, tenka išanalizuoti funkcijų $W = - \int_z^1 (z - S_0) dV$ ir $Y = \int_z^1 z a_z dz$ kitimo pobūdį įvairiuose gyliuose bei aptarti vandens tankio eigą vertikalėje visų metų laikotarpiais. Tam reikalui panaudojami ypačiai 20 ir 22 lentelių duomenys. Pagaliau prieinami atitinkami rezultatai.

e) Išvados

Susipažinome su pagrindinėmis V. Chomskio mintimis. Kas norėtų jo mintis pažinti nuodugniau, turėtų išstudijuoti jo darbą „Pagrindinės ežero vandens masės dinaminės sąlygos ir jo dubens forma“ [„Geografinis metraštis“, 1960 (III)]. Iš to darbo plaukia tokios išvados:

1. Svarbus ežero vystymosi faktorius yra jo dubuo. Bet, apskritai imant, dubens forma, būdama netaisyklinga, komplikuoja savo vaidmens nustatymą dinaminiose procesuose. Todėl limnologijoje, turint pagrindines vandens masės sąlygas, dubens forma pakeičiama cilindru arba ji visai paneigiama. Dažnai vandens masės pastovumas apibūdinamas iš formulės

$$D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\Delta Q_i}{\Delta z_i},$$

kurioje ežero dubens forma nefigūruoja. Visa tai iš esmės yra labai netikslu ir nepadeda spręsti kai kurių limnologinių problemų, pavyzdžiui, netolygaus ežerų vystymosi.

2. Ežerų dubenis tūrio, kaip funkcijos, atžvilgiu galima sugrupuoti: 1) į cilindrinis, 2) elipsoidinius, 3) paraboloidinius, 4) konusinius ir 5) dvilypius, t. y. tokius, kurių dubenų tūriai

sudaryti iš dviejų taisyklingų formų: paraboloido ir konuso, elipsoido ir konuso tūrių ir t. t. Iš batigrafinių kreivių, redukuotų į vienodus pagrindus, galima spręsti, kuriai taisyklingos formos grupei tiriamasis ežeras priklauso, nes cilindro, puselipsoidžio, paraboloido ir konuso batigrafinės kreivės yra tiksliai žinomos.

3. Skaičiuojant vandens masės pastovumą šuolio sluoksnio periode, tenka naudotis šiomis formulėmis:

a) cilindrinų ežerų grupei

$$D_0^c = \sum_0^H (q_z - 1) (z - 0,5 H) \Delta z;$$

b) elipsoidinių

$$D_0^e = 0,7 \sum_0^H (q_z - 1) (z - 0,5 H) \Delta z;$$

c) paraboloidinių

$$D_0^p = 0,5 \sum_0^H (q_z - 1) (z - 0,5 H) \Delta z$$

ir d) konusinių

$$D_0^k = 0,3 \sum_0^H (q_z - 1) (z - 0,5 H) \Delta z.$$

4. Jei ežeras dvilypis, tai skaičiuojant vandens pastovumą, taikytina viršutinei daliai viena iš tik ką parašytų formulių, priklausomai nuo to, kuriai taisyklingai formai turi kaip funkcijos atžvilgiu yra artima ta dubens dalis. Apatinei daliai integras $\int_0^H (q_z - 1) (z - S_0) dV$ būna lygus 0 arba artimas jam.

Tai skaičiuoti apatinės dalies pastovumą nėra prasmės.

5. Ieškant dinaminės sąmaišos rodiklio vasaros metu, t. y., kada ryškiai yra susiformavęs šuolio sluoksnis, vartotinos tokios formulės (juose q_0 yra priedugninio sluoksnio tankis):

a) cilindrinų ežerų grupei

$$R_0^c = \sum_0^H (1 - q_z) z \Delta z;$$

b) elipsoidinių

$$R_0^e = \sum_0^H (q_0 - q_z) z \Delta z + 0,5 \sum_0^H (1 - q_0) z \Delta z;$$

c) paraboloidinių

$$R_0^p = 0,8 \sum_0^H (q_0 - q_z) z \Delta z + 0,33 \sum_0^H (1 - q_0) z \Delta z;$$

d) konusinių

$$R_0^k = 0,7 \sum_0^H (q_0 - q_z) z \Delta z + 0,16 \sum_0^H (1 - q_0) z \Delta z.$$

6. Jei ežeras dvilypis, tai, skaičiuojant dinaminės sąmaišos rodiklį, reikia elgtis panašiai, kaip yra nurodyta ketvirtojoje išvadoje.

7. Nuo ežero formos priklauso ir masių apykaitos koeficientas A . Nustačius tam tikrame gylyje cilindrinio ežero koeficientą, galima be specialių matavimų tikėtis, kad lygiapločių ir lygiagylių konusinių ežerų grupėje, esant maždaug vienodai temperatūros eigai vertikalėje, šis koeficientas bus 3 kartus, o paraboloidinių ežerų — 2 kartus mažesnis. Kelintą dalį cilindrinų ežerų masių apykaitos koeficiento A tame pačiame gylyje sudarys lygiapločiai ir lygiagyliai elipsoidinių ežerų grupė, esant identiškai temperatūros eigai vertikalėje, reikia apskaičiuoti pagal formulę

$$d^e = \frac{2 + z_k}{3(1 + z_k)}.$$

*

Skyrių apie ežero vandenų pastovumą ir sąmaišą baigsime šiomis bendro pobūdžio pastabomis.

1. Turint daugelio ežerų morfometrinius rodiklius, galima visapusiškai tyrinėti vandens masės pastovumą ir sąmaišą, jų priklausomybę nuo ežero dubens formos.

2. Reikalinga laikytis vienodos giluminių temperatūros matavimų metodikos, būtent: vertikalėje matuoti temperatūrą kas 1 m, o šuolio sluoksnyje — kas 0,5 m. Matavimai toje pačioje vertikalėje turi būti periodiški. Periodo trukmė — 5 dienos. Temperatūras matuoti didžiausio gylio vertikalėje reikia bent dviem apverčiamaisiais termometrais.

3. Reikia organizuoti specialius vertikalės temperatūros matavimus: prieš audrą, po audros, vėjuoatą giedrą dieną ir ramią

šaltą naktį, o taip pat temperatūrą terminiams profiliams parbrėžti.

4. Būtina tyrinėti gruntinių vandenų vaidmenį konvekciniuose sąmaišose.

5. Reikia domėtis taip pat biomasės, dujų, koloidų, mineralinių dalelių ir ištirpusių druskų sąmaiša.

III. EŽERO TERMIKA

Kalbėdami apie ežero termiką, daugiausia turėsime omenyje vidutinės klimato zonos ežerus, t. y. tų vietų, kur esama vasaros ir žiemos, pavasario ir rudens. Savaime suprantama, kad ežero termoreguliacija visų pirma priklauso nuo klimatinės zonos, kurioje ežeras gyvena, o taip pat ir nuo metų laikų. Pavasarį ir vasarą ežero vanduo įšyla, rudenį ir žiemą atšąla ir kuriam laikui žiemą užšąla,— ligi ankstyvo pavasario, kada ežeras nuo ledo atsipalaiduoja. Matome, kad pirmiausia kreiptinas dėmesys į du dalykus: į ežero įšilimo ir atšalimo procesus, kuriems labai daug reikšmės turi ežero vandens masių sąmaiša, ir į tai, kaip ežeras užšąla.

Kad visa tai būtų nesunkiai suprantama, reikia prisiminti 6 lent., kurioje pavaizduota vandens tankio $m:V=\rho$ priklausomybė nuo temperatūros. Didžiausią tankį vanduo pasiekia, būdamas $+4^{\circ}\text{C}$. Temperatūrai nuo šio taško kylant, vandens tankis mažėja. Tankis mažėja ir temperatūrai leidžiantis žemyn, nuo $+4^{\circ}\text{C}$ ligi 0. Tokiu būdu galimas atvejis, kai šiltesnis vanduo būna tankesnis už šaltesnį vandenį. Pavyzdžiui, 3°C vanduo yra tankesnis už vandenį 1°C . Tai turi labai svarbias pasekmes: neleidžia ežero vandens masei per daug atvėsti ir ežerui ligi dugno iššalti.

1. EŽERO VANDENS MASĖS ĮŠILIMO IR ATŠALIMO PROCESAI

Pačioje pradžioje atsimintinas faktas, kad ežero vandenį palygintus su upės vandenimis, galima laikyti stovinčiais. Dėl to ežero vandenys duoda visai kitokį terminį vaizdą negu upės vandenys. Ežero vandenų terminis vaizdas yra daug sudėtingesnis negu upės vandenų. Mat, upės vanduo gana srauniai teka, neretai sūkuriais, arba verpetais (turbulentiškai), upės van-

duo sparčiai maišosi, tai jo temperatūra beveik visur tokia pat, kaip viršuje,— upės vandenyje vyrauja homotermija, t. y. temperatūros vienodumas. Jei ir esama kokio skirtumo, tai jis toks mažas, jog praktiškai lieka nereikšmingas. Kas kita ežere. Ežere tarp viršutinių vandens sluoksnių temperatūros ir apatinių dažnai esama nemažo skirtumo. Svarbiausia, kad apatinių sluoksnių vandens temperatūra vasarą ir žiemą būna daug pastovesnė už viršutinių sluoksnių temperatūrą. Pavasarį ir rudenį, padidėjus ežero vandens sąmaišai, ir ežere įsivyrauja homotermija, kaip ir upėje. Vasarą ir žiemą homotermija ežero vandenyse neįsigali. Pastebėtina, kad vasarą pačiame viršuje būna šiltesnis vanduo, o giliau šaltesnis, gi žiemą atvirkščiai — pačiame viršuje šaltesnis, o giliau šiltesnis: prie ledo vandens temperatūra būna arti 0, o giliau $+1$, $+2$, $+3$ ir $+4^{\circ}\text{C}$.

Jei aukščiau esama vandens sluoksnio aukštesnės temperatūros, o gretimo žemesnio sluoksnio žemesnės, tai toks vandens susisluoksniavimas vadinamas tiesiogine vandens temperatūrinių stratifikacija. O jei aukštesnis sluoksnis žemesnės, o žemesnis aukštesnės temperatūros, tai toks susisluoksniavimas vadinamas atvirkštine temperatūrinių stratifikacija.

Temperatūrinių stratifikacijos nereikia supainioti su stratifikacija pagal tankį. Šios stratifikacijos paprastai sutampa, bet neretai ir nesutampa. Jei, pavyzdžiui, aukštesnio sluoksnio vandens temperatūra $+14^{\circ}$, o žemesnio $+12^{\circ}$, tai abi stratifikacijos, temperatūrinė ir pagal tankį, viena kitą atitiks,— abi bus tiesioginės. O jeigu viršutinio sluoksnio temperatūra bus $+2^{\circ}$, o apatinio $+3^{\circ}$, tai temperatūrinė stratifikacija bus atvirkštinė, o pagal tankį — tiesioginė. Pagaliau jeigu sluoksnių temperatūra būtų $+3^{\circ}$ ir $+2^{\circ}$, tai temperatūrinė stratifikacija būtų tiesioginė, o stratifikacija pagal tankį — atvirkštinė.

*

Kurie gi veiksniai verčia ežero vandens temperatūrą kisti? Dėl kurių priežasčių tiesioginę vandens temperatūrinių stratifikaciją pakeičia atvirkštinė, o atvirkštinę tiesioginė? Iš kurių šaltinių vandenys semia šilumą?

Ežero vandenys semia šilumą iš daug ir įvairių šaltinių, tačiau svarbiausias ir pagrindinis šaltinis — tai saulės radiacija, saulės spindulių energija. Iš saulės ežero vandenys gauna šilumos betarpiškai ir per tarpininkus: gauna šilumos iš oro

sluoksniu, esančio virš vandens, iš besikondensuojančių virš ežero paviršiaus vandens garų, o taip pat ir ledui dedantis; iš vėjo, nes vėjo energijos dalis virsta šiluma, kuri patenka į ežero vandenį; ežero vandenys šilumos, be to, dar gauna organinių procesų dėka, pūvant organinėms medžiagoms ežero dugne, o taip pat iš upių ir iš kritulių; dar pažymėtina šiluma, gaunama iš ežero krantų ir požeminių šaltinių.

Intakai ir šaltiniai visuomet ežerui šilumos daugiau ar mažiau duoda, bet ne visada pakelia jo vandenų temperatūrą. Pakelia tik tuo atveju, kai jų pačių vandens temperatūra būna aukštesnė už ežero vandenų temperatūrą. Priešingu atveju intako ar požeminio šaltinio vanduo ežero vandenų temperatūrą numuša, vandenį atvėsina, imdami iš jų šilumos.

Vandens laidumas šilumai mažas (0,0014 sidabro laidumo). Ją po ežero vandens masę išskirsto vandenį maišantieji veiksniai: bangos, srovės, ypačiai konvekcinės. Kaip tat atlieka bangos ir šiaip srovės, be jokių aiškinimų aišku. Daug sudėtingesnis vaidmuo konvekcijos, kuri skiriama į hidrostatinę ir terminę. Hidrostatinė konvekcija bus tada, kai ji vyks, t. y. kai viršutinės vandens dalys grims, o apatinės kils, dėl tankių skirtumo, susidariusio dėl smulkių ir lėtai nusėdančių drumzlių, vandens nuo žemės paviršiaus atneštų, ypačiai po lietaus ir tirpstant sniegui. Hidrostatinė konvekcija vyksta ir dėl ištirpusių druskų koncentracijos nevienodumo. Terminė konvekcija bus tada, kai ji vyks, t. y. kai viršutinės vandens dalys grims, o apatinės kils, dėl vandens tankių skirtumo, susidariusio dėl temperatūrinių nevienodumų.

Iš šitų dviejų konvekcijos rūšių mūsų temai reikšmingesnė antroji, t. y. terminė konvekcija, bet negalima sakyti, kad hidrostatinė konvekcija bereikšmė. Ji taip pat ežero termoregulacijai tam tikru laipsniu reikšminga. Žodžiu, konvekcija, ar ji šiokia, ar ji tokia, yra labai svarbus veiksnys, kurs šilumą skirsto ežero vandens sluoksniams. Daugiausia dėl konvekcijos susidaro ežeruose vasarą tiesioginė stratifikacija, o žiemą atvirkštinė.

Iš 47 pav. aiškiai matyti, kad vandens temperatūra žiemą žemesniuose sluoksniuose būna aukštesnė negu aukštesniuose, o vasarą atvirkščiai: aukštesniuose — aukštesnė, žemesniuose — žemesnė.

Ir žiemą, ir vasarą temperatūra, einant gilyn, stengiasi pasiekti $+4^{\circ}\text{C}$.

Šitai pastebėję, imkime tiesioginę temperatūrinę stratifikaciją ir sakykime, kad vandens paviršius, ir be to gana šiltą, saulės spinduliai dar sušildo. Kas tokiu atveju atsitinka? — Gi tiesioginė temperatūrinė stratifikacija dar sutvirtėja, nes įšilęs vanduo pasidaro retesnis ir lengvesnis, taigi grimzti jis gilyn negali. Atvirkščiai, jei vandens paviršiaus temperatūra tiesioginės stratifikacijos atveju imtų be paliovos kristi, tai vanduo sustankėjęs imtų grimzti, imtų maišytis, ir tai vyktų, ligi vanduo visame ežere pasiektų didžiausio tankumo temperatūrą, t. y. $+4^{\circ}\text{C}$. Tiesioginė temperatūrinė stratifikacija virstų atvirkštine, nes gilesni vandens sluoksniai būtų šiltesni už viršutinius.

Imkime dar atvirkštinės temperatūrinės stratifikacijos pavyzdį. Jeigu paviršius bus saulės spindulių šildomas, tai atvirkštinė virs tiesiogine stratifikacija, nes viršutinio sluoksnio temperatūra pasieks $+4^{\circ}\text{C}$ ir pakils dar aukščiau. Vanduo iš pradžių grims (ligi 4°C), o paskui jis grimzti negalės, nes jis darysis vis retesnis. Taip pat jis negalėtų grimzti, jei atvirkštinė stratifikacija imtų tvirtėti, t. y. jei paviršinio vandens temperatūra imtų dar labiau kristi, artėti prie 0° , nes ir šiuo atveju vanduo darytųsi retesnis. Žodžiu, tiesioginė stratifikacija pastovesnė, vandens temperatūrai kylant, o atvirkštinė pastovesnė, vandens temperatūrai krintant. Konvekcija ryškiausiai pasireiškia tiesioginės stratifikacijos atveju, vandens temperatūrai krintant.

*

Vasarą ir žiemą susidaro gilesniuose ežeruose temperatūrinio šuolio sluoksnis (žr. 47 ir 48 pav.). Rudenį ir pavasarį tas sluoksnis išnyksta.

2. TERMINIS BALANSAS

Ežero vandens masės terminis balansas yra daug sudėtingesnis už hidrologinį, nes terminį balansą sudaro didesnis skaičius pozicijų. Vieni veiksniai ežerui šilumos tik duoda, kiti tik ima; esama ir tokių, kur vienu atveju duoda, o kitu ima.

Savaime aišku, kad saulė ežerui šilumos tik duoda, o niekados neima. Ši pozicija visuomet su plusu. Ją pažymėsime simboliu Q_{sr} (šiluma iš saulės radiacijos).

Taip pat būna vis su pliusu pozicija Q_{as} , t. y. šiluma, gaunama iš atmosferos spinduliavimo.

Tokia pat pozicija ir Q_{us} , t. y. šiluma, gaunama iš upių (intakų) ir šaltinių.

Pagaliau visuomet būna teigiama pozicija Q_{li} , t. y. šiluma, gaunama dedantis ledui, vėliau ištako išneštam.

Iš nuolatinių neigiamųjų pozicijų visų pirma pažymėtina Q_{vs} , t. y. paties vandens spinduliavimas.

Toliau eina Q_{ap} , t. y. šiluma, kurios netenkama dėl antžeminio ir požeminio vandens nutekėjimo.

Trečioji visuomet būna neigiama pozicija Q_{la} , t. y. šiluma, suvartota intakų į vandens masę atneštam ledui tirpinti.

Likusios pozicijos vienu atveju būna teigiamos, kitu neigiamos.

Q_{gk} — šiluma, gaunama garų kondensacijos atveju ir atiduodama, vykstant vandens garavimui.

Q_{ma} — sūkuriniai mainai šiluma su apatiniu atmosferos sluoksniu.

Q_{md} — mainai šiluma su dugnu. Paskutinių dviejų pozicijų teigiamumas ar neigiamumas priklauso nuo šilumos srauto krypties: į vandenį — pliusas, iš vandens — minusas.

Q_l — ledo dangos formavimasis ir tirpimas.

Q_{kr} — kritulių pozicija būna teigiama, kai lyja, ir neigiama, kai sniegti, nes sniegą reikia ištirpinti.

Žinant šilumos pajamas per tam tikrą laiką ir išlaidas, nesunku surasti saldo, sužinoti, kiek šilumos atsargos ežere padidėjo ar sumažėjo:

$$\begin{aligned} &+Q_{sr} + Q_{as} + Q_{us} + Q_{li} \\ &\quad - Q_{vs} - Q_{ap} - Q_{la} \\ &\pm Q_{gk} \pm Q_{ma} \pm Q_{md} \pm Q_l \pm Q_{kr} \\ \hline &\pm \Delta Q \end{aligned} \quad (49)$$

Dydis ΔQ kaip tik yra šilumos saldo, gautas po įvairių šiluminių „operacijų“, vykusių per tam tikrą laiką. Jis gali būti su pliusu ir su minusu, destis, kas didesnės: pajamos ar išlaidos. Jei išlaidos didesnės, tai šilumos turėjo būti imta iš šilumos atsargų.

3. ŠILUMOS ATSARGOS EŽERO VANDENS MASĖJE

Svarbu ne vien šilumos pasiskirstymas ar išsisklaidymas ežero vandenyje, bet ir pačios šilumos kiekis. Tas kiekis ežero vandens masėje nebūna vienodas. Giliuose vidutinio klimato zonos ežeruose jis nuo ežero atsipalaidavimo nuo ledo iki maždaug rugpiūčio mėnesio auga drauge su vidutine vandens temperatūra. Toliau, susilpnėjęs saulės radiacijai ir atvėsus orui, šilumos kiekis ežere ima mažėti, prasideda rudeninės temperatūros periodas. Atitinkamai pakinta ir šilumos pasiskirstymas ežere. Šilumos kiekis epilimnione labai svyruoja, nes tiek šilumos akumuliacija (šilumos pajamos), tiek šilumos atidavimas (šilumos išlaidos) daugiausia vyksta epilimniono vandens masės sąskaita. Hipolimniono tūris vasarą, šuolio sluoksniui, arba metalimnionui, vis leidžiantis žemyn, mažėja ir, praktiškai imant, šilumos mažai gauna. Hipolimniono šilumos išlaidos vasarą gana žymios, nes dalis šilumos tenka metalimnionui ir epilimnionui drauge su pereinančiomis į jų sudėtį vandens masėmis. Be to, dalis šilumos šildo dugną. Epilimnione šilumos kiekis vasarą auga.

Negiliuose ežeruose rudenį vandenis šildo dugnas, pats vasarą įšilęs. Iš dugno kai kada šilumos ežerai gauna ir būdami apsidengę ledu. Taigi ir žiemą šilumos atsargos ežero vandens masėje gali didėti.

Šilumos atsargos ežero vandenyse skaičiuojamos keliais būdais. Forelis tam reikalui imdavo vandens stulpelį, kurio skersinio piūvio plotas lygus 1 cm^2 , o aukštis lygus didžiausiam ežero gyliui. Į ežero dubens pobūdį, šį metodą taikant, neatsižvelgiama. Tat reikia laikyti trūkumu. Šį trūkumą pašalina Berdžas. Jis ėmė tokį pat vandens stulpelį, kaip Forelis, tik jo aukštis buvo lygus vidutiniam ežero gyliui. Halbfasas skaičiuodavo šilumos kiekį visai vandens masei. Muraveiskis pasiūlė grafinį šilumos atsargų ežero vandenyje skaičiavimo būdą, kurį taikant galima apskaičiuoti šilumos atsargas ir vidutinę temperatūrą kaip visame ežere, taip ir atskiruose jo vandens sluoksniuose.

Skaičiuojama tokiu būdu: kvadratais išgrafuotame popieriuje braižomas koordinatų tinklėlis; vertikalinėje ašyje nubraižoma ežero tūrio skalė (žr. morfometrijos skyrių, 30 ir 31 pav.) cm^3 ;

horizontalinėje ašyje žymimi šilumos kiekiai (q), susikaupę 1 cm³ įvairiuose gyliuose.

$$\text{Dydis } q = t^{\circ} c q; \quad |q| = |t^{\circ} c q| \left(\frac{\text{kal}}{\text{cm}^3} \right),$$

kur t° — temperatūra laipsniais;

c — specifinė vandens šiluma kal/g^oC;

q — tankis g/cm³; vertikalūs brūkšneliai reiškia absoliutinį didumą.

Gėlam vandeniui c laikytinas lygus 1, taip pat ir $q \approx 1$, tokiu atveju

$$q = t \left(\frac{\text{kal}}{\text{cm}^3} \right),$$

kur t — laipsnių skaičius.

Taigi diagramoje sužymimos q reikšmės pagal temperatūras, matuotas įvairiuose gyliuose.

Kad surastume bendrą šilumos kiekį Q ar atskirų sluoksnių $Q_1, Q_2, Q_3, \dots$, grafiškai dauginame V ir q , t. y. surandame plotą figūros tarp koordinatų ašių ir kreivosios ABC (žr. 31 pav.) arba, jei reikia surasti šilumos kiekius atskiruose sluoksniuose, atskirų atitinkamų dalių plotus:

$$Q = \Sigma V q.$$

Vidutinė ežero vandens temperatūra surandama, padalijus Q iš $V c q$:

$$t_v^{\circ} = \frac{Q}{V c q}.$$

$$\text{Jei } c=1 \text{ ir } q=1, \text{ tai } t_v^{\circ} = \frac{Q}{V}.$$

Taigi šiuo atveju vidutinė vandens temperatūra surandama labai paprastai.

4. EŽERO VANDENS MASĖS PASIKEITIMAS ŠILUMA SU DUGNU

Nuosėdos ant ežerų dugno šilumos gauna iš vandens, o taip pat ir iš saulės, betarpiškos radiacijos negiliose vietose (prie krantų). Taip pat nuosėdos šilumos gauna iš vykstančių jose biologinių ir biocheminių procesų ir iš pačios žemės ar grunto.

Žinoma, svarbiausias dumblui šilumos pajamų šaltinis — tai ežero vandens masė. Terminis nuosėdų režimas taip pat pri-

klauso ir nuo jų pačių savumų,— nuo jų šilumos imlumo, šilumos laidumo. Tie savumai viršutiniuose dumblo sluoksniuose maždaug tokie, kaip vandens apskritai, nes tie sluoksniai labai vandeningi. Gilesniuose dumblo sluoksniuose ima reikštis dumblo sutankėjimo ir įžemio įtaka.

Vandens kiekiui dumble mažėjant, mažėja jame ir šilumos imlumas. Organinių medžiagų šilumos imlumas maždaug du kartus didesnis už mineralinių medžiagų šilumos imlumą.

Patirta, kad nuo pavasarinės cirkuliacijos periodo ligi rugpiūčio—rugsėjo mėnesio vandens masė atiduoda šilumą dugnui, o rudenį ir žiemą — dugnas vandens masei.

Negilių ežerų ir litoralinės gilių ir didelių ežerų zonos dugnas anksčiau pavasarį ima įšilti, o vasarą intensyviau įšyla; užtat rudenį toks dugnas pats ima greičiau vėsti ir vandens masę šildyti, vasarai besibaigiant, rudenį prasidedant, artėjant žiemos režimui.

5. EŽERO UŽŠALIMAS

Savaime aišku, kad kaip ežero vandens masės įšilimas ir atšalimas priklauso nuo ežero aplinkos, lygiai taip priklauso nuo aplinkos, ypačiai nuo klimatinės zonos, ir ežero užšalimas. Karštosios zonos ežerai niekada neužšąla, vidutinių — būna užšalę mažesnę metų dalį, šaltųjų — didesnę metų dalį arba bent pusę metų. Turėsime omenyje vidutinių zonų ežerus. Šių zonų ežerai užšąla visai kitaip negu upės, nes upės vandens apykaita vienokia, o ežero — kitokia.

Kad ežeras užšaltų, būtina atvirkštinė temperatūrinė stratifikacija, t. y. ežero paviršinio vandens temperatūra turi būti žemesnė už apatinių sluoksnių vandens temperatūrą. Kai paviršiaus temperatūra pasiekia 0°, paprastai ima dėtis ledas. Jei orai ramūs, o temperatūra laikos ne aukščiau 0°, ledas ima storiėti, taip sakant, augti,— augti iš apačios. Šis faktas pastebėtinai: ledas auga iš apačios. Ledas gali paūgėti ir iš viršaus, bet turi suledėti sniegas ar užšalti ežero plotą užliejęs vanduo.

Jei orai neramūs, ežeras banguoja, tai jo užšalimas vyksta šiek tiek panašiai į upės užšalimą. Upėje susidaro ižo lytelės, tos lytelės beplaukdomos sulimpa, sustoja, ir susidaro ledas. Neramiame ežere taip pat atsiranda ižo adatos ir lytelės, tik tos lytelės, kolei ežeras neramus, nesulimpa. Sulimpa tik tada,

kai ežeras aprimsta, ir tokiu būdu užšąla. Ledas ima augti iš apačios, iš pradžių gana smarkiai, vėliau lėčiau.

Ledo prieauglis ežeruose visų pirma priklauso nuo oro temperatūros. Ledo storį, susidariusį per laiką t , galime nustatyti iš šios formulės:

$$h = \sqrt{h_0 + \frac{2k_1}{\gamma\beta} \tau_0 t}, \quad (50)$$

kur h — ledo storis periodo pabaigoje;

h_0 — pradinis ledo storis;

t — parų skaičius;

τ_0 — ledo paviršiaus (arba sniego) temperatūra, artima oro temperatūrai ir paprastai laikoma lygia su ja;

$\gamma = 0,92 \text{ t/m}^3$ — ledo tūrio vieneto svoris;

$\beta = 80 \text{ kal}$ — slaptoji ledėjimo šiluma;

k_1 — šilumos laidumo koeficientas ledui, lygus

$$0,35 \frac{\text{kkal}}{\text{m} \cdot \text{para} \cdot ^\circ\text{C}};$$

jei ant ledo yra sniego, tai imamas k_2 , lygus

$$0,007 \frac{\text{kkal}}{\text{m} \cdot \text{para} \cdot ^\circ\text{C}}.$$

Reiškinys kkal — 1000 kalorijų (kilokalorija).

Ledo storio svyravimo Tarybų Sąjungos ežeruose ribos labai plačios: nuo 50—70 cm iki 150—200 cm ir daugiau. Ledo storiui nemažai įtakos turi vėjas. Jis sniegą nušluoja ir padaro ežerą šalčiui prieinamesnį. Palei krantus ledas paprastai būna storesnis, negu toliau nuo kranto. Priežastis aiški.

Ledo storiui nuo pat užšalimo pradžios nustatyti naudojasi F. I. Bidino formulė:

$$h = \varphi \sqrt{\Sigma(-\tau)}, \quad (51)$$

kur

$$\varphi = \sqrt{\frac{2k_1}{\gamma\beta}}, \text{ o } \Sigma(-\tau) =$$

vidutinių paros neigiamųjų temperatūrų suma, buvusių per laiką t . Simbolių k_1 , γ , β reikšmė žinoma iš formulės (50).

Skaičiuodamas pagal vidutines paros temperatūras, V. N. Gončiarovas φ laiko lygiu 3,68.

Tik visai negilūs ežerai iššąla ligi dugno.

Pavasarij ežeras nuo ledo dangos atsipalaiduoja, ėmus ledui tirpti iš viršaus ir iš apačios. Iš viršaus ledą tirpina saulės spinduliai, o iš apačios vanduo, kurio temperatūra pakyla, nors ir pro ledą, pavasario reiškinių paveikta. Ypačiai reikšmingas būna palyginti šiltas vanduo, į ežerą patekęs iš aplinkos, sniegui tirpstant. Pavasarinis vandenų lygio pakilimas ir bangų sukėlėjas vėjas paspartina ledo tirpimo procesą. Ledo danga dingsta paprastai per keletą dienų.

Kad ežeras užšaltų, reikalinga, jog pats jo paviršius pasiektų 0° temperatūrą. O tai gali įvykti tik tada, kai oro temperatūra pasiekia 0° ir kai ežero vandens masės temperatūra pasiekia 4°C , t. y. aukščiausią savo tankio laipsnį. Aišku, kad ši antroji sąlyga virsta faktu tik po to, kai iš ežero vandens atimama daug šilumos. Todėl nuo oro temperatūros peržengimo per 0° ligi ledo dėjimosi momento turi praeiti tam tikras laiko tarpas. Tas tarpas priklauso, iš vienos pusės, nuo orų būvio: nuo temperatūros kritimo dydžio, nuo debesuotumo, vėjo ar tylos, o iš kitos pusės, priklauso nuo paties ežero, ypačiai nuo jo gylio. Gilūs ežerai ne taip greit užšąla. Lygiai taip pat ledo danga ima nykti, tik praėjus tam tikram laiko tarpui po to, kai oro temperatūra pavasarį pakyla aukščiau 0° .

Ežerui užšalant, atsipalaiduoja slaptoji šiluma, kuri sušvelnina aplinkos mikroklimatą, pratęsia rudenį. Ir atvirkščiai, kad ledas ištirptų, reikia daug šilumos, kuri imama iš aplinkos, ir tuo pavasaris toje aplinkoje padaromas šiek tiek vėlyvesnis.

Dideli ežerai šiuo atžvilgiu gali būti labai reikšmingi, pavyzdžiui, Baikalo ežeras. Dėl jo įtakos žiemos temperatūros aplinkoje būna šiek tiek aukštesnės, o vasaros temperatūros būna šiek tiek žemesnės, negu kad būtų, jei Baikalo ežero visai nebūtų.

Dar pastebėsime, kad sūriųjų ežerų užšalimo procesas vyksta maždaug taip, kaip ir gėlyųjų ežerų. Žinoma, druskų, ištirpusių vandenyje, kiekis ir sudėtis tam tikrą reikšmę turi, bet ne tokia didelę, kad galėtų užšalimo procesą esmingai pakeisti. Gėlas vanduo virsta ledu esant 0°C , o sūrus, t. y. toks, kurio druskų koncentracija siekia daugiau kaip 24,695 ‰, užšąla esant minus $1,332^{\circ}\text{C}$. Tokios temperatūros sūrusis vanduo būna ir didžiausio tankio.

Prieš baigdami šį skyrių ir prieš pereidami prie tolesnių skyrių — ežero optikos, akustikos, chemizmo, biologijos, dugninių nuosėdų, atsigręšime atgal ir dar kartą pažvelgsime, kas ežero hidrologiją, hidromechaniką ir termiką sieja, jungia, kas sudaro joms branduolį. Tai dvi tendencijos anksčiau jau mūsų pastebėtos, o čia įsakmiau pabrėžiamos:

1) hidrostatinė, t. y. ežero vandens masės priešinimasis pusiausvyros trikdymui ir stengimasis sutrikdytą pusiausvyrą atstatyti, ir

2) hidroterminė, t. y. ežero vandens masės pusiausvyros trikdytojų, tos masės maišytojų stengimasis, kad ežero vandens masėje įsigalėtų homotermija.

6. ŽVILGSNIS Į LIETUVOS TSR EŽERŲ VANDENS TEMPERATŪRINĮ REŽIMĄ

Ežerų temperatūrinį režimą nulemia klimatinės sąlygos ir pačių ežerų dydis bei gylis.

Lietuvos TSR užimamas plotas nėra didelis, dėl to ir klimatinės sąlygų skirtumai jame nėra žymūs. Taigi šis veiksnys ežerų vandens masės termiką veikia visoje Lietuvos TSR teritorijoje maždaug vienodai.

Kas kita gaunama, atsižvelgus į ežerų dydį ir gylį. Jei ežeras nedidelis ir negilus, tai jis lengvai pasiduoda vandenų sąmaišai, paprastai vėjo vykdomai, ir jame lengvai įsigali homotermija. Jei ežeras didelis, bet negilus, homotermija įsigali sunkiau, bet vis dėlto ne per sunkiausiai. Sunkiausiai ji įsigali dideliuose ir giliuose ežeruose. Juose vienoda temperatūra įsigali rudenį ir pavasarį, kada vyksta intensyvi vandenų sąmaiša. Vasarą dideliuose ir giliuose ežeruose vandens temperatūra būna įvairi. Pavyzdžiui, temperatūriniai stebėjimai Dubingių ežere, kurio didžiausias gylis siekia 50 m, liepos ir rugpiūčio mėnesį parodė, kad vandens masės temperatūrų kritimo diapazonas yra gana didelis. Matuojant konstatuota, kad paviršiuje vandens temperatūra siekia 18,2°—22,2°C, o prie dugno — tik 4—7°C, t. y. maždaug tiek, kiek pavasarį ir rudenį visoje vandens masėje.

Apskritai, gilesniuose Lietuvos TSR ežeruose vasarą viršutiniame 5—7 m storio sluoksnyje vandens temperatūra būna beveik vienoda. Jos aukštis priklauso nuo saulės radiacijos intensyvumo. Po pirmojo sluoksnio eina antrasis,— temperatūrinio šuolio sluoksnis, nes jame temperatūra staigiai krinta: kas metras bent dviem laipsniais. Šio sluoksnio storis siekia apie 5 metrus ir būna 5—12 metrų gylyje. Giliau temperatūros kritimo spartis sumažėja ir pagaliau temperatūra būna vienoda ligi dugno.

Tokiu būdu vasarą Lietuvos TSR gilesniuose ežeruose vandens masę pagal temperatūrinį gradientą sudaro trys sluoksniai: epilimniono — nuo paviršiaus ligi 5—7 m gylio; toliau metalimniono — nuo 5 ligi 12 metrų gylyje; pagaliau hipolimniono — ligi pat dugno. Hipolimnione temperatūra gana pastovi ir žema: 7—4°C. Metalimnione temperatūra aukštesnė, bet staigiai krintanti. Epilimnione vandens temperatūros aukštį sąlygoja saulės radiacijos intensyvumas ir apatinių oro sluoksnių temperatūra. Į rudenį, kai ima vėsti apatiniai oro sluoksniai ir viršutiniai vandens sluoksniai, suintensyvėja vandenų sąmaiša dėl konvekcijos. Dar prisideda vėjas. Dėl šių veiksmų temperatūra ežero vandens masėje išsilygina ir liekas maždaug 4°C, t. y. tokia, kokia buvo hipolimnione. Žiemą po ledu vėl vandens masė tam tikru būdu temperatūros atžvilgiu susisluoksniuoja. Pavasarį, ėmus tirpti sniegui, patvinsta upeliai ir upės, ežerai gauna daug šviežio vandens. Vandenys maišosi. Tą vandenų sąmaišą suintensyvina vėjas. Ir vėl ežere įsigali homotermija, kaip ir rudenį.

Reikia dar pažymėti, kad litoralinėje, arba priekrantinėje, zonoje vasarą temperatūra būna aukštesnė negu ežero viduryje. Pavyzdžiui, 1954.VII.22 dienos stebėjimai Dubingių ežero parodė, kad priekrantinėje zonoje vandens temperatūra buvo lygi 19,6°C, o ežero viduryje siekė 18,4°C.

Pavasarij ledas pirmiausia ima nykti ežero pakraščiuose, o rudeniu baigiantis ar pasibaigus ledas ima pirmiausia dėtis taip pat pakraščiuose. Tai rodo, kad ežero pakraščiai greičiau įšyla, bet greičiau ir atvėsta negu centrinių ežero dalių vandenys.

Pavasarij pakraščiai nuo ledo anksti atsipalaiduoja dar ir todėl, kad pakyla vandens horizontas.

IV. EŽERO OPTIKA IR AKUSTIKA

Rodos, bus natūralu, jei mes pirma kalbėsime apie ežero vandens spalvą, o paskui apie to vandens skaidrumą,—bus natūralu, nes, ežerą pamačius, vandens spalva kaip tik pirmiausia krinta į akis. Metodologiniais sumetimais kalbėsime apie šiuodu dalyku atskirai, nors iš tikrųjų jie yra labai susiję vienas su kitu ir abiem turi esminę reikšmę spindulių refleksija ir refrakcija.

1. EŽERO VANDENS SPALVA

Ežero vandens spalva gana įvairi ir ji priklauso labiausiai nuo ežero aplinką sudarančių veiksnių, ypačiai nuo dienos ir metų laiko ir nuo orų. Kitaip ežeras atrodo giedrą dieną ir kitaip debesuotą; vienaip vidurdienį ir kitaip rytą ar vakarą, taip pat šiek tiek skirtingai atrodo pavasarį, vasarą ir rudenį. Žiemą ežerai paprastai būna užšalę ir būna arba ledo spalvos, arba sniego spalvos.

Daug reikšmės turi ir paties vandens spalva. O paties vandens spalva, kaip ir oro spalva, yra mėlyna. Oro didelės masės ir vandens didelės masės iš tolo atrodo mėlynos. Mėlynieji toliai, mėlynosios jūros. Ir ežerai labai dažnai atrodo mėlyni, pavyzdžiui, Trakų grupės ežerai ir kt. Ypačiai giedrą, ramią vasaros dieną. Tačiau Kryžiuočių ir Gulbinų ežerų vandenys tokią dieną būna žali, aiškiai žali.

Bet ežero vanduo būna ir kitokios spalvos, ne vien mėlynos ar žalios. Daugelio ežerų vanduo rudos, durpinės spalvos. Apskritai, kaip jau esame skyrelio pradžioje sakę, ežero vandens spalva būna gana įvairi. Forelis net sudarė skalę ežero vandens spalvai nustatyti. Ulė tą skalę padvigubino. Forelio-Ulės ežero vandens spalvų skalę propagavo ir tobulino rusų limnologas-oceanologas J. Šokalskis. Su ta Forelio-Ulės ežero vandens spalvų skale susipažinsime.

Forelis savo skalę sudarė iš dviejų tirpalų: mėlyno ir geltono. Tuos tirpalus įvairiomis proporcijomis maišydamas, gavo vienuolika skalės numerių: mėlynų, žydrų, žydrai žalių, žalių ir žaliai geltonų. Pirmasis nr. grynai mėlynas, tai jo proporcija $M : G = 100 : 0$; antrasis nr. jau ne toks mėlynas, jo proporcija $M : G = 98 : 2$ ir t. t. Čia M — mėlynas tirpalas, būtent 0,5% mėlynojo akmenėlio (vario kuporoso, CuSO_4) tirpalas

amoniakuotame vandenyje, ir G — geltonasis tirpalas, būtent 10,5% K_2CrO_4 tirpalas.

Pilnas Forelio skalės vaizdas toks:

25 lentelė

Nr. Nr.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
M (%)	100	98	95	91	86	80	73	65	56	46	35
G (%)	0	2	5	9	14	20	27	35	44	54	65

Ulė šią Forelio skalę pratęsė, pridurdamas dar dešimtį numerių — nuo XII ligi XXI. Tam tikslui jis panaudojo dar trečiąjį tirpalą — rusvą (žymėsime raide R), būtent rusvą 0,5% kobalto sulfato ($CoSO_4 \cdot 7H_2O$) tirpalą. Forelis M procentų skaičių, eidamas nuo numerio prie numerio, mažino, o G procentų skaičių didino; gi Ulė M procentų skaičių nuo XI ligi XXI numerio paliko tą patį, būtent 35, G procentų skaičių mažino, o R procentų skaičių didino. Ulės papildymas šitaip atrodo:

26 lentelė

Nr. Nr.	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX	XX	XXI
M (%)	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
G (%)	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15
R (%)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50

Abi skalės, bendrai sudėtos iš 21 numerio, sudaro vieną Forelio-Ulės skalę (ksantometrą). Ji duoda palaipsniui spalvas nuo tamsiai mėlynos (Nr. 1) ligi tamsiai durpinės spalvos (Nr. XXI).

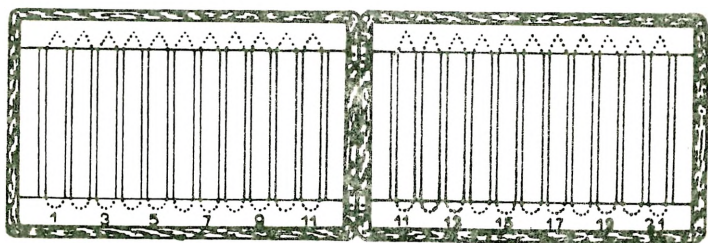
J. Šokalskis patarė šią skalę ne pačiam gamintis, o pirktis, nes pirktinė tikslesnė ir pigesnė. Mėgintuvėlius su tirpalais (numeriais) Šokalskis patarė laikyti tokioje dėžutėje (žr. 72 pav.).

Tirpalų M, G ir R procentus lengva įsidėmėti. Forelio skalė prasideda 100 ir 0, o paskui nuo 100 atimama, o prie 0 pridėdama po 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 ir 11; Ulės skalė dar

paprastesnė: ji prasideda 35, 65 ir 0; 35 liekasi nepakitę, o nuo 65 atimama ir prie 0 pridedama po 5.

Norint nustatyti ežero vandens spalvą, reikia turėti seriją mėgintuvėlių su tirpalais pagal Forelio-Ulės skalę ir Sekio (Secchi) diską (73 pav.).

Diską reikia nuleisti ligi matomumo (reliatyvinio skaidrumo) ribos ir pakelti ligi pusės pasiekto gylio. Spalvą reikia palyginti



72 pav. Sokalskio dėžutė, kurioje laikoma Forelio-Ulės spalvų skalė

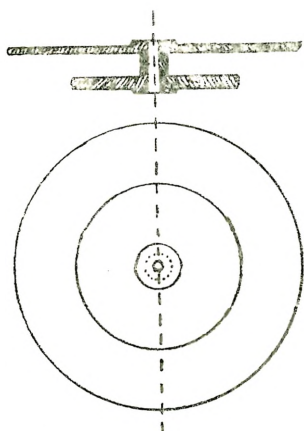
su mėgintuvėlių skysčių spalvomis ir nustatyti vandens spalvos numerį. Neretai pasitaiko, kad spalva būna tarpinė — tarp dviejų numerių. Tokiu atveju tuos numerius tenka ir nurodyti. Pasitai-ko ir taip, kad ežero vandens spalvą būna arti kurio nors nume-rio, bet nė su vienu numeriu nesutampa. Tą numerį, kuris arčiau-

sia, reikia ir nurodyti, pažymint nesutapimą, pvz., arti Nr. VII ir t. t. ar maždaug Nr. V ir t. t.

Tarybų Sąjungos ežerų vanduo įvairiausių spalvų. Mėlyniausias vanduo bene bus Isik-kulio ežero, o rusviausias, durpinis vanduo būna durpynų ežeruose.

Štai čia kaip tik proga konkrečiau pakalbėti, nuo ko priklauso ežero vandens spalva.

Ežero vandens spalva priklauso 1) nuo natūralios jo paties spalvos, 2) nuo medžiagų, jame ištirpusių, 3) nuo medžiagų, jame su-



73 pav. Sekio diskas, žiūrint iš šono ir iš viršaus

spenduotų, ir 4) nuo mikroorganizmų, gyvenančių ežerų vandens masėje.

Ežerai su natūralios, t. y. su mėlynos, o taip pat ir žydros, spalvos vandenimis pasitaiko ne dažnai, nes šią spalvą paveikia kiti veiksniai: ištirpusios ar suspenduotos medžiagos, mikroorganizmai, dugno spalva ir kt. Kalnų ežerų vanduo paprastai būna žydras, o durpynų apsuptuose ežeruose būna rusvas, rudas, net tamsiai rudas, durpinis. Tokių ežerų labai žymus skaičius.

Ištirpusios mineralinės prigimties medžiagos paprastai mažai paveikia ežero vandens natūralią spalvą (dėl koncentracijos silpnumo), bet vis dėlto paveikia. Daugiau reikšmės natūralios ežero vandens spalvos pakitimui turi suspenduotos medžiagos, pvz., vandenyje pakibusios dumblo ar šiaip organinių ir neorganinių medžiagų dalelės. Kai jos nusėda, vanduo darosi skaidresnis ir spalva natūralesnė. Suspenduotos dalelės lengviausiai nusėda, kai orai ramūs, nėra vėjo, vanduo nebanguoja. Tokiais tarpais kaip tik ir pasireiškia tikroji ežero vandens spalva.

Jei mechaniskų suspensijų labai daug, tai ežero vanduo įgyja tų suspensijų spalvą, kai kada net nerandamą Forelio-Ulės spalvų skalėje. Taip atsitinka prie įtekančių į ežerą upių žiočių potvynio metu arba ežeruose, priimančiuose vandenį iš tirpstančių ledynų, pvz., Altajuje.

Ežerų vandens savita spalva visų pirma priklauso nuo humatų kiekio vandenyje. Tai ryškiai matyti iš šių duomenų:

Humatų kiekis (mg/l)	Vandens spalva
0,000	mėlyna
0,020	melsva
0,025	žalsvai mėlyna
0,050	žalia
2,000	gelsvai ruda

Iš to reiktų padaryti labai svarbią išvadą, kad ežero vandens spalva, ežerui vystantis, kinta, būtent: 1) jauni ežerai (alpinio tipo) yra melsvos spalvos; 2) subrendę ežerai (baltinio tipo) turi jau gana daug humatų ir yra melsvai žalios ir žalios spalvos; pagaliau 3) susenę ežerai yra gelsvai rudos ir rudos spalvos.

Tokiu būdu ežero vandens spalvos tyrimas yra svarbi priemonė ežero išsivystymo laipsniui nustatyti.

Ypačiai didelę reikšmę vandens spalvos pakitimui turi mikroorganizmai. Nuo jų neretai vanduo ima „žydėti“, t. y. pasidaro aiškiai žalias. Esama mikroorganizmų, kur vandeniui teikia gelsvą atspalvį; taip pat esama ir tokių mikroorganizmų, kur vandens spalvą daro rausvą ar raudoną.

Paprastai mikroorganizmai vandenį nudažo tik laikinai, tam tikrais laikotarpiais. Bet esama ežerų, kur šis reiškinys gana pastovus, kad dėl jo ežeras tam tikrai ir pavadinamas. Toks ežeras, pavyzdžiui, yra Kizil-Rako ežeras šiaurės Kazachstane. Jo vanduo raudonas, ir jo pavadinimas, išverstas į lietuvių kalbą, reiškia „raudonasis sūrus purvas“ (Bergas ir Ignatovas. 1901).

2. EŽERO VANDENS SKAIDRUMAS

Ežero vandens skaidrumas tiriamas, panaudojant Sekio diską. Tas diskas į vandenį gramzdinamas ligi to gylio, kur jis pasidaro nematomas,— gramzdinamas ligi matomumo ribos. Pastebėta, kad mėlynųjų ežerų vandenys skaidresni negu žaliųjų, geltonųjų ar rudųjų ežerų vandenys. Taip pat patirta, kad ežero vandens skaidrumas nuo šviesos ryškumo, t. y. nuo to, ar saulė aukštai, ar žemai virš horizonto, mažai priklauso: tiek ryte ar vakare, tiek vidudienį Sekio diskas pasidaro nematomas maždaug tame pačiame gylyje. Labiausiai ežero vandens skaidrumas priklauso nuo suspenduotų jame mikroskopinių dalelių, nuo vadinamojo sestono, kuris lyg debesis ar rūkas paslepia diską nuo stebėtojo akių.

Taigi vandens skaidrumas yra labai sudėtingas reiškinys, priklausąs nuo daugelio aplinkybių, kurios sąlygoja didesnį ar mažesnį ežero vandenyje susikaupimą sestono — gyvojo, arba planktono, ir negyvojo, arba triptono.

Veiksniai, kurie apsprendžia ežero vandens skaidrumą, labai įvairūs, priklausą įvairioms reiškinų kategorijoms; tie reiškiniai — tai, pavyzdžiui, intakų veikla, kurios dėka į ežerą pakliūva iš aplinkos įvairių medžiagų, dėl kurių vanduo pasidaro drumstesnis; bangų goža (atsimušimas į krantus), srovės ežere taip pat ežero vandenį drumsčia nuo krantų ir dugno; vėjas ežerą irgi, taip sakant, užteršia, prinešdamas į jį dulkių ir kitų eolinių užnašų; pagaliau biologiniai reiškiniai veikia ne vien

ežero vandens spalvą, bet ir jo skaidrumą; ypačiai reikšmingas masinis fitoplanktono ežere susikaupimas (ežero vandens „žydėjimas“). Šie visi reiškiniai toli gražu ne visi, kurie šiokių ar tokių būdu veikia ežero vandens skaidrumą, kurie pinasi į tų veiksnių kompleksą, kuris apsprendžia ežero vandens skaidrumo laipsnį ir jo regioninius, sezoninius, o kai kada ir dienos pakitimus.

Sezoniniai įvairių ežerų vandens skaidrumo svyravimai sudaro gana nepastovų vaizdą, kurio fone galima pastebėti šiuos būdingus bruožus: žiemą po ledu ežero vandens skaidrumas didėja; jis sumažėja pavasarį, ar vasaros pradžioje, kai patvinsta upės ir ežero vandens lygis pakyla, ir vėl skaidrumas ima didėti į vasaros pabaigą ir rudenį, kai vandens lygis pasiekia vidutinio aukščio. Mat, žiemą ledo pluta, lyg koks dangtis, apsaugoja ežero vandenį nuo vėjo poveikių, neleidžia jo drumsti ir užteršti visokiomis pašalinėmis medžiagomis; be to, į ežero vandenį nepakliūva medžiagų nuo krantų, nes nėra bangavimo, tai ir į krantą atsimušančių bangų. Planktono kiekis po ledu sumažėja. Visos šios aplinkybės kelia po ledu vandens skaidrumo laipsnį. Aišku, kad pavasario ir vasaros potvyniai gali ežero vandens skaidrumo laipsnį tik smukdyti. Į vasaros pabaigą, į rudenį biologinis ežero gyvenimas aprimsta, daug suspensijų nusėda, ir vanduo dėl to pasidaro skaidresnis.

Skaidrėjimo procesas pelaginėje ežero srityje vyksta daug intensyviau negu prie krantų, nes prie krantų vanduo atsimušusių bangų drumsčiamas. Be to, aliuvis iš upių pirmiausia pakliūva prie krantų. Iš pradžių jis būna pakibęs, vėliau nusėda, nepasiekęs ežero vidurio.

Konkretus pavyzdys — Aralo jūra, o iš esmės imant — ežeras. Į šį ežerą prineša daug dumblo Amu-Darjos ir Sir-Darjos upės. Sunkesnės suspensijos nusėda upių deltose, lengvesnės pakliūva į periferinę srovę, ir centrinės Aralo ežero srities tos suspensijos nepasiekia. Jos iš lėto nusėda periferijoje. Prie nusodinimo labai prisideda koaguliaciniai procesai dėl vandens sūrumo. Kadangi aliuvis centrinės Aralo ežero dalies nepasiekia, tai tos dalies vanduo yra labai skaidrus, ir tat yra pažymėtinas reiškinys. Taip pat pažymėtinas skaidrumo sąryšis su ežero vandens spalva. Centrinės Aralo ežero dalies vandens spalva atitinka Forelio-Ulės skalės Nr. III (Bergas, 1908), t. y.

spalva mėlyna. Einant į krantus, kur vanduo drumzlingesnis, mažiau skaidrus, mėlynumas mažėja, eina nuo Forelio-Ulės skailės Nr. Nr. III—IV (Aralo ežero centre) ligi Nr. VIII (į Aralo ežero pakraštį), t. y. nuo mėlynos spalvos ligi žydrai žalios.

Reikia pažymėti, kad Sekio disku ištiriamas nepilnas ežero vandens skaidrumas. Iš tikrųjų saulės spinduliai įsiskverbia daug giliau, negu rodo Sekio diskas. Kitaip sakant, absoliutinė tamsuma prasideda daug giliau, negu kad Sekio diskas pasidaro nematomas. Tai patiriama, panaudojus seriją fotografinių plokštelių, pritvirtintų prie trosu ir nuleistų į vandenį. Tos plokštelės tam tikru prietaisu įvairiuose horizontuose atiden-giamos, ir paskui išstudijuojama, kiek jos šviesos paveiktos ar nepaveiktos. Tokiu būdu nustatomas pilnasis vandens skaidrumas.

Pilnasis Ženevos ežero skaidrumas siekia 110 m gylio, t. y. pilnasis skaidrumas siekia 5 kartus giliau, negu rodo Sekio diskas (jis rodo 21 m). Taigi Ženevos ežero srityse, gilesnėse kaip 110 m, viešpatauja absoliutinė tamsuma.

Jei nepilnąjį skaidrumą pažymėsime raide x , o pilnąjį — y , tai iš Ženevos ežero duomenų galėsime sudaryti tokią proporcią:

$$x : y = 21 : 110$$

Šią proporcią galima pritaikyti ir kitų ežerų pilnajam skaidrumui nustatyti arba, tiksliau sakant, išskaičiuoti, jei žinomas tas gylis, kuriame Sekio diskas išnyksta iš akių. Pavyzdžiui, Sevano ežero Sekio diskas pasidaro nematomas 17 m gylyje. Taigi čia $x=17$, o proporcią tokia:

$$17 : y = 21 : 110.$$

Pilnasis Sevano ežero skaidrumas bus:

$$y = \frac{17 \cdot 110}{21} \approx 89 \text{ (m)}.$$

Žinoma, šis skaičius tik spėjamas, tik apytikris.

Esama ežerų, kur absoliutinė tamsuma prasideda 25 m gylyje. Daugelis ežerų skaidrūs ligi pat dugno.

Studijuojant bet kurį dalyką, kyla klausimas: kam to viso reikia? Kam reikalinga žinoti, koks šito ar kito ežero nepilnasis ir pilnasis vandens skaidrumas? — Kam reikia žinoti, koks

ežero gylis, labai aišku: žvejybai, transportui. Tačiau, kam reikia žinoti, koks ežero vandens skaidrumas?

Į šitą klausimą lengvai atsakysime, jei atkreipsime dėmesį, kokią reikšmę šviesa turi gyvybei,— florai ir faunai, ypačiai žaliajai florai ir ruginčiai faunai. Juk kur nesiekia saulės šviesa, ten negali būti žalių augalų, kur absoliuti tamsa, ten nė jautriausia akis negali nieko matyti. Šitai žinant, aišku, kokią reikšmę vandens skaidrumas turi augalams ir gyvūnams,— žuvims. Vandens skaidrumas, t. y. saulės spindulių įsiskverbimas į ežero vandens masę, nustato žaliajai augmenijai ribą, kurią peržengti jai neįmanoma. O absoliutinėje tamsoje akys pasidaro nereikalingos, užtat turi labai išsivystyti lietimų jautimas. Vandenynų gelmėse kai kuriems gyviesiems išsivysto sugebėjimas patiems savo aplinką apšviesti. Ežeruose dar tokių gyvūnų nerasta. O peršviečiamųjų vandens sluoksnių gyventojai akimis plačiai naudojasi, tykodami grobio arba nuo grobuonių slėpdamiesi ar nuo jo bėgdami. Fitoplanktonas ir didžia dalimi zooplanktonas kaupiasi kaip tik skaidriojoje ežero vandens masės dalyje. Apskritai, gyvenimas labiausiai verda peršviečiamuosiuose vandens sluoksniuose. Gyvybės esama ir absoliutinės tamsumos sluoksniuose, bet ne tokios ir netokios įvairios, kaip šviesos siekiamuose vandens sluoksniuose. Šiaip ežero gyvybė svyra į šviesos pusę, šviesos, kaip ir šilumos, siekia.

3. SPINDULIŲ REFLEKSIJA NUO EŽERO PAVIRŠIAUS

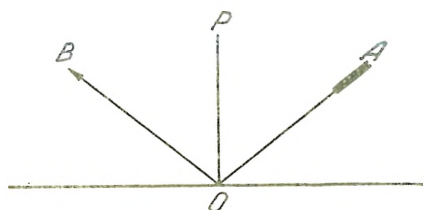
Prisiminsime, kas yra spindulio kritimo kampas ir atspindžio kampas (74 pav.).

Kritimo kampą sudaro krintąs spindulys ir statmuo, iškeltas iš atspindinčio, ar reflektuojančio, paviršiaus, šiuo atveju iš ežero paviršiaus, o atspindžio kampą sudaro tas pats statmuo ir atspindėjęs spindulys; atspindžio kampas yra lygus kritimo kampui; be to, abu spinduliai, krintąs bei atspindėjęs, ir statmuo yra toje pačioje plokštumoje.

Kritimo ir atspindžio kampų dydis turi reikšmės spindulių įsiskverbimui į vandenį. Jei jie maži, tai spinduliai krinta stačiai, ir jų daugiau į vandenį įsiskverbia. O jei jie dideli, tai spinduliai krinta nuožulniai, jie nuo ežero paviršiaus lyg nuslysta ir

į ežero vandens masę mažiau įsiskverbia. Bet praktiškai tai neturi beveik jokios reikšmės.

Jei į ežerą žiūrėsime tam tikru kampu, tai priešingame ežero krante esantieji dalykai: medžiai, trobesiai bus matomi ežere apversti, bet beveik nedeformuoti (75 pav.). Bus ežere matoma nemaža landšafto dalis ir pats ežeras bus nudažytas



74 pav. Kampai: spindulio kritimo (AOP) ir atspindžio (POB)

landšafto spalvomis, dažnai nustelbiančiomis tikrąją ežero vandens spalvą. Kai ežeras ramus ir ežero paviršius lygus kaip veidrodinis, tai atspindžiai būna labai tobuli. Ypačiai gražiai ir teisingai atspindi aukštesnysis priešingojo kranto landšaftas ir afi-

tinkama dangaus skliauto dalis. Žinoma, ežero paviršius, ypačiai didelio ežero, kaip žemės paviršiaus segmentas, yra šiek tiek išgaubtas, bet išgaubimo spindulys yra labai didelis, tai išgaubimas palyginti mažame plote nėra žymus. Deformacija žymi, net labai žymi, pasidaro tik tuo atveju, kai atspindintieji dalykai yra pakilę tik per kelias minutes virš horizonto. Šiuo atveju atspindintieji daiktai atrodo žemesni, turį tik pusę ar net tik trečdalį tikrojo savo aukščio.

Daug sudėtingesnis reiškinys susidaro, kai ežero paviršių vėjas ar kita kuri mechaniška priežastis nors kiek sujudina, kai ežeras ima nors kiek banguoti. Banguotas plotas susidaro iš cilindrinų kauburių ir cilindrinų duburių. Bangų kauburiai duoda tiesioginius daiktų atspindžius, o bangų duburiai — atvirkštinius. Kiekvienas atspindys yra sumažintas vaizdelis viso matomojo ploto, viso landšafto gylio nuo horizonto ligi zenito. Bet tokie atspindžiai aiškiai būna matomi tik tuo atveju, kai bangavimas būna tolydinis ir gana lėtas, kai bangos turi gana taisyklingą cilindrinę formą. Kai tik bangavimas paspartėja, kai bangos pasidaro netaisyklingos, nesimetriškos, atspindžiai susipainioja, susitaršo, nors jie būtinai susidaro tais pačiais dėsniais, kaip ir pirmiau, kai sąlygos buvo ramesnės ir bangos taisyklingesnės.

Šiaip ar taip, bet kiekviena banga duoda dvilypį atspindį apšviestų daiktų, esančių prieš stebėtoją. Jei atspindimas daik-

tas labai šviesus, blizgus,— Saulė, Mėnulis, Venera, Jupiteris ir kt.,—tai kiekvienas atspindys akies sugaunamas kaip kokia kibirkštis. O kadangi bangos visados esti gana netaisyklingos, tai kibirkščių ruožas išplinta į dešinę ir į kairę pagal tai, į kur



75 pav. Saulėlydžio atspindėjimas Stirnių ežere

bangos deformacija pasidavus — į dešinę ar į kairę. Ir visas kibirkščių ruožas, būdamas platesnis ar siauresnis, pasiduoda į tą ar kitą pusę, pagal tai, kokia bangų forma ir kryptis.

Dangaus skliautas, baltas ar pilkas debesis, tolimas kalnas ir kiti mažai šviesos duodą priešingame krante esantieji dalykai taip pat atspindi ežere, bet tai nėra aiškiai matoma. Tačiau šie atspindžiai banguojantį ežero vandenį vienaip ar kitaip nudažo pagal tai, kokios atspindimų daiktų spalvos ir koks jų apšvietimo laipsnis. Šis nudažymas labai priklauso ir nuo bangavimo intensyvumo.

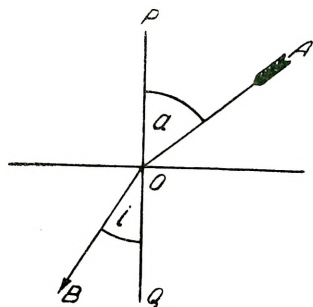
Kai bangos būna labai plačios, bet neaukštos, tai daiktų atspindžiai būna pastebimi; vis dėlto atspindimi daiktai atrodo deformuoti — suploti, ištempti,— apskritimas išvirsta į elipsę ir t. t. Kai bangos pasidaro aukštesnės ir mažiau taisyklingos, tai spalvota šviesa difuziškai išsisklaido, ir susidaro įspūdis, kad ji atspindi nuo matinio paviršiaus. To pasekmė —

tono vienodumas. Šiuo atveju visiškai neįmanoma įžiūrėti kuriuos nors atspindžius. O kai bangos būna labai aukštos, kai jų kauburiai darosi peršviečiami, tai tokiu atveju dalį šviesos atiduoda ežero vanduo, ir ta dalis pasiekia stebėtojo akį. Aišku, kad šiuo atveju ima reikštis paties ežero vandens spalva, kuri gali turėti žydrą, žalsvą, rusvą ar juosvą atspalvį, net pilką ir gelsvą, jei ežero vandenį yra intakai užteršę aliuviai. Kai, ežerui banguojant, dangus būna giedras, grynas, žydras, tai tas žydrumas pinasi su ežero spalva. Ypačiai graži ežero spalva susidaro, kai paties ežero spalva būna mėlyna ar žalia.

4. SPINDULIŲ REFRAKCIJA VIRŠ EŽERO PAVIRŠIAUS

Pirmiausia prisiminsime, ką kalbėjome apie temperatūrinę vandens stratifikaciją, arba susisluoksniavimą. Jo esama tiesioginio — kai viršuje vanduo šiltesnis, o apačioje šaltesnis, ir atvirkštinio — kai viršuje vanduo šaltesnis, o apačioje šiltesnis.

Panašiai susisluoksniuoja ir oras virš ežero paviršiaus, žinoma, jei orai būna ramūs, jei nepučia vėjas. Tiesioginė oro stratifikacija bus tada, kai šilto oro masės bus aukščiau, o šalto žemiau, gi atvirkštinė bus tada, kai šiltos oro masės bus žemiau, o šaltos aukščiau. Šaltasis oras paprastai būna tankesnis, taigi ir sunkesnis už šiltąjį.



76 pav. Kampai: spindulio kritimo (a) ir lūžimo (i)

Oro virš ežero paviršiaus stratifikacija priklauso nuo ežero vandens paviršinio sluoksnio temperatūros. Jei tas paviršius šiltas — vienaip oras stratifikuojasi, o jei šaltas — kitaip. Visa tai turi reikš-

mės refrakcijos reiškiniams. Pirmą kalbėsime apie refrakciją virš šilto vandens, o paskui — virš šalto. Bet prieš tai reikia prisiminti keletą žinių apie refrakciją apskritai.

Refrakcija — tai spindulių lūžimas, jiems einant iš vienos aplinkos į kitą, ar iš vienokios į kitokią. Susidaro kritimo kampas a ir lūžimo kampas i (76 pav.).

Bandant patirta, kad lūžimo kampas i paprastai nebūna lygus kritimo kampui a . Kai kampas i būna mažesnis už kampą a , tai spindulys priartėja prie statmens, nuleisto iš naujos aplinkos paviršiaus, o kai kampas i už kampą a didesnis, tai spindulys nuo to statmens nutolsta: priartėja, kai spindulys eina iš retesnės aplinkos į tankesnę, nutolsta, kai spindulys eina iš tankesnės aplinkos į retesnę.

Šviesos spinduliai lūžinėja, eidami per įvairios temperatūros, taigi ir įvairaus tankio oro sluoksnius, vienaip ar kitaip, tiesiogiai ar atvirkščiai, susistrafikavusius. Tas susisluoksniavimas, tiesioginis ar atvirkštinis, gali būti temperatūrinis, bet gali būti ir higrometrinis. Mat, ežero vanduo garuoja, tai apatiniai oro sluoksniai būna drėgnesni už viršutinius. Bet tai labai mažai veikia refrakcijos reiškinius, o temperatūrinė stratifikacija veikia labai žymiai. Dėl to tik į temperatūrinę stratifikaciją kreipsime dėmesį.

Dėl refrakcijos reiškinių tiek pats ežero paviršius, matomas labai smailu kampu, tiek kiekvienas daiktas, nedaug pakilęs ar iškilęs virš ežero paviršiaus, atrodo pastumtas iš savo tikros vietos ir daugiau ar mažiau deformuotas.

Visi, mus dominą, refrakcijos reiškiniai vyksta virš šilto ar šalto paviršinio ežero vandens sluoksnio, t. y. visai prie horizonto, kurio esama dvejopo: tikrojo fizinio horizonto ir tariamojo fizinio horizonto. Kaip galima numanyti, tikrasis horizontas bus refrakcijos reiškinių nepaveiktas, o tariamasis gali būti tų reiškinių paveiktas. Panagrinėsime smulkiau šių abiejų horizontų sąvokas.

Isivaizduokime, kad esame viduryje tokio didelio ežero, jog krantų nematyti. Tokio ežero paviršius, kaip žemės paviršiaus dalis, bus gana išgaubtas. Sakykime, kad per stebėtojo akį eina liečiamosios į ežero paviršių. Lietimo taškai kaip tik sudarys tikrąjį fizinį horizontą. Taigi tikrasis fizinis horizontas yra geometrinė vieta tų ežero paviršiaus taškų, kuriuose tiesiosios, einančios per stebėtojo akį, liečia ežero paviršių. Tikrojo, t. y. refrakcijos nepaveikto, fizinio horizonto spindulys priklauso nuo aukščio, kuriame būna stebėtojas virš ežero paviršiaus. Štai keliolika skaičių, kurie gali padėti susidaryti

šios aukščio ir spindulio priklausomybės įvaizdį (žr. 27 lentelę, paimtą iš Forelio, 1912).

27 lentelė

Akies aukštis virš ežero (m)	Horizonto spindulys (km)	Akies aukštis virš ežero (m)	Horizonto spindulys (km)
1	3,569	20	15,962
2	5,048	25	17,845
3	6,182	30	19,548
4	7,133	40	22,000
5	7,981	50	25,000
6	8,742	60	28,000
7	10,095	80	32,000
10	11,287	100	36,000
15	13,823	192	50,000

Tariamajam fiziniame horizonte figūruoja ne liečiamosios, t. y. ne tiesios linijos, kurios eina per stebėtojo akį ir liečia šiek tiek išgaubtą ežero paviršių, bet spinduliai, lūžę ar nelūžę, liečiantieji ežero paviršių ir siekiantieji stebėtojo akį. Taigi tariamasis fizinis horizontas yra geometrinė vieta tų ežero paviršiaus taškų, kuriuos liečia, lūžę ar nelūžę, šviesos spinduliai, siekią stebėtojo akį. Tikrasis ir tariamasis fiziniai horizontai paprastai nesutampa. Tariamasis gali būti šia pus ir anapus tikrojo, be to — žemiau ar aukščiau.

Refrakcija virš šilto vandens. Šiuo atveju oro temperatūrinė stratifikacija būna atvirkštinė: viršuje šalti, tankūs oro sluoksniai, apačioje šilti, reti. Šiuo atveju pastebimi tokie refrakcijos reiškiniai (Forelis, 1901):

a) Tariamasis fizinis horizontas žemiau tikro fizinio horizonto.

b) Tariamasis fizinis regėjimo laukas suspaustas, t. y. patys kraštiniai ežero paviršiaus taškai, kurie dar matyti, priartinti.

c) Viduje šio lauko ežero paviršius atrodo labiau išgaubtas. Atrodo, kad matomas žemės paviršiaus išgaubimas, o iš tikrųjų to nėra.

d) Jeigu ežeras banguoja, tai horizonto kraštas atrodo šūkėtas, nes bangos atrodo daug aukštesnės negu iš tikrųjų.

Refrakcija virš šalto vandens. Šiuo atveju oro temperatūrinė stratifikacija būna tiesioginė: šalti tankūs oro sluoksniai apačioje, o šilti, reti — viršuje. Pastebimi tokie šiuo atveju refrakcijos reiškiniai (Forelis, 1901):

a) Tariamasis fizinis horizontas yra aukščiau tikrojo fizinio horizonto.

b) Tariamasis fizinis horizontas yra anoje tikrojo fizinio horizonto pusėje.

c) Horizonto viduje ežero paviršius atrodo įgaubtas; įgaubimas reiškiasi prieš stebėtoją.

d) Dėl ežero paviršiaus išgaubimo nematomi daiktai pasidaro matomi.

*

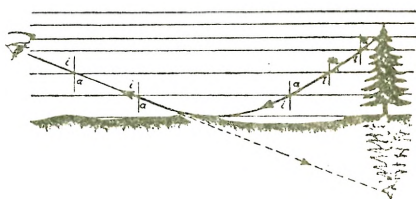
Nepaprastai įdomus refrakcijos reiškinys — miražai, kurie gali būti dviejų rūšių — žemutiniai ir aukštutiniai.

Miražai pastebimi ir dykumose. Ir jie mums nušvies visų nurodytų refrakcijos reiškinų, vykstančių virš šilto ir šalto vandens, fizinę esmę.

Pažvelkime į 77 pav., vaizduojantį žemutinį miražą.

Dykumos ar ežero paviršius būna įšilęs, o nuo jo ir oras. Žinoma, labiausiai prie pat paviršiaus. Juo aukšty, tuo vė-

syn. Taigi spindulys iš taško I pradžioje eina iš vėsesnės į šiltesnę aplinką, arba iš tankesnės į retesnę, o paskui, atsispindėjęs, tenka spinduliui eiti iš retesnės į tankesnę. Spinduliui tenka lūžinėti. Lūžimo kampai i , einant spinduliui



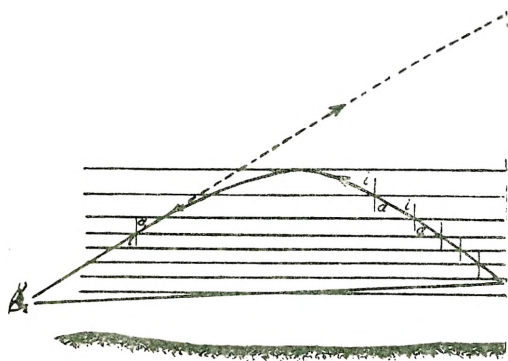
77 pav. Žemutinio miražo schema

iš tankesnės aplinkos į retesnę, būna didesni už kritimo kampus α , o kai eina iš retesnės aplinkos į tankesnę, lūžimo kampai i būna mažesni už kritimo kampus α . Dėl šitos priežasties spindulys iš tiesaus pasidaro laužtinis, t. y. einąs ne tiesia, bet laužtine, susidedančia iš labai mažų tiesiosios atkarpėlių. Toji laužtinė įgaubta, bet stebėtojas to įgaubimo nemato, o tik tiesiai mato tariamą atvirkščią vaizdą. Tai kažkas panašu į refleksiją, bet

refleksijos reiškiny yra daug paprastesnis. Refleksijos atveju spindulys lūžta tik vieną kartą, atsispindėjęs į ežero paviršių, o miražo atveju spindulys ne tik lūžta, bet lūžinėja, t. y. ne vieną, o daug kartų lūžta.

Ta pati priežastis, kuri žemutinio miražo atveju spindulį lyg iš viršaus įgaubia, aukšutinio miražo atveju spindulį iš viršaus lyg išgaubia.

Šiuo atveju spinduliai taip pat eina pirma iš tankesnės į retesnę aplinką, o paskui iš retesnės į tankesnę. Taigi iš pradžią lūžimo kampai *i* bus didesni už kritimo kampus *a* po atsispindėjimo, o paskui — mažesni. To rezultatas — spindulio išgaubimas.



78 pav. Aukšutinio miražo schema

Aukšutiniai miražai labai dažni šaltuosiuose regionuose, o žemutiniai — šiltuosiuose ar karštuosiuose, ypačiai rytuais. Vidutinėje klimato zonoje miražai dažniau pasitaiko pakraščiuose prie karštosios ir šaltosios klimatinių zonų. Vidutinės zonos viduryje jie pasitaiko retai, būna neryškūs, todėl mažai pastebimi.

Visi optiniai reiškiniai, kaip ir anksčiau nagrinėti hidrologiniai, hidromechaniniai ir terminiai reiškiniai, sakyte sako, kad ežeras yra labai susijęs su savo aplinka, kad aplinka yra ežero gyvenimo pagrindas. Tai sako ir ežero vandens spalva, to vandens skaidrumas, refleksijos ir pagaliau refrakcijos reiškiniai. Tai patvirtins ir tolesni skyriai — akustikos, chemizmo, biologijos.

5. EŽERO AKUSTIKA

Apie ežero akustiką Forelis, limnologijos kūrėjas, nieko nekalba. Halbfasas, lyginamosios limnologijos kurso autorius, duoda nepilnų keturių puslapių skyrelį.

Pasirodo, kad kaip ežero optikai svarbi temperatūrinė oro stratifikacija, taip ežero akustikai svarbi higrometrinė stratifikacija. Jei nėra vėjo, vandens garai kaupiasi virš vandens, ir akustinės sąlygos pagerėja. Tiek žmonių, tiek gyvulių balsai pasidaro tokiu atveju prie vandens garsesni. Tai ypačiai gerai pastebima ramiais rytais ar vakarais.

Antras pastebėtinas dalykas — tai ežero „baubimas“ ar „šaudymas“. Šis reiškinyss labai plačiai pastebėtas ir įvairiai pavadintas, bet beveik visai neištirtas. Greičiausiai tai bus tolimų garsų į ežerą atsimušimas. Šitai rodo, kad su ežeru santykiuojama net gana tolimos aplinkos.

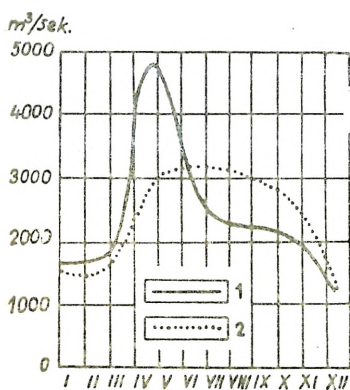
V. EŽERO CHEMIZMAS

Vienu iš pačių svarbiųjų cheminių,— tiksliau sakant, fizikocheminių,— vandens savumų yra tai, kad jame gali ištirpti įvairios medžiagos, kad jis gali virsti tirpalu. Visi gerai žinome, kaip tirpsta vandenyje valgomoji druska ar cukrus ir visi esame pastebėję, kad cukrus sparčiau tirpsta šiltame, o ypačiai karštame vandenyje. Valgomosios druskos tirpimo atveju tai pastebima ne taip lengvai, kaip cukraus tirpimo atveju, nes valgomoji druska tirpsta gana sparčiai tiek šiltame, tiek šiltame vandenyje. Nekalbant apie išeitą chemijos kursą, mes turime iš praktinio gyvenimo prisirinkę ir daugiau mums šiuo tarpu labai svarbių cheminių žinių; pavyzdžiui, visi esame pastebėję, kaip iš šalto, bet šildomo vandens ima kilti burbuliukai. Vadinasi, šiltame vandenyje gali būti daugiau ištirpusio oro negu šiltame. Kai tik vanduo ima šilti — oras ima išsiskirti. O valgomosios druskos ar cukraus gali daugiau ištirpti šiltame vandenyje. Bet ir kai kurios kietos medžiagos iš šilto ar karšto vandens išsiskiria, pvz., kalkės. Juk visi žinome, kiek priauga kalkinių skretulių vandens virinamuosiuose induose.

Šitai ypačiai liečia litoralinę zoną, kurioje vanduo greičiau įšyla, bet greičiau ir atvėsta negu toliau nuo krantų.

Ežero vandeniui labiausiai domimasi kaip tirpalu, t. y. fizinės ir koloidų chemijos požiūriu. Šis požiūris ypačiai svarbus biologams, nes ežero vanduo yra aplinka, kurioje gyvena įvairūs organizmai, kuriasi įvairios gyvybės formos ir kurioje gali ištirpti ne tik kietosios biogeninės medžiagos, bet ir dujos, visų

pirma oras. Tokiu būdu į vandenį pakliūva deguonis ir ištirpusiu deguonimi savo gyvybę palaiko žuvis. Kai deguonies pritrūksta, pvz., žiemą po ledu, žuvis ima dusti, arba, kaip Žuvinto apylinkėse sakoma, trokšti.



79 pav. Ladogos ež. vandens pritekėjimas (1) ir nutekėjimas (2) metų būvyje

Iš darbų matyti, kad į ežero vandenį kaip į tirpalą žiūrėjo ir Forelis. Jis pirmiausia nurodo, kad, apskritai imant, cheminė ežero vandens sudėtis priklauso nuo šių trijų faktorių: a) nuo intakų vandens sudėties ir nuo vandens pasiskirstymo metu būvyje; b) nuo pakitimų, kurie įvyksta, būnant vandeniui ežere, ir c) nuo ežero vandens išlaidų.

Bet nereikia pamiršti lietaus vandens, kuris pakliūva į ežerą betarpiškai, taip pat nereikia pamiršti sniego, ant ledo, dengiančio ežerą, prisnigto, o taip pat ir vandenų, kuriuos ežeras gauna iš šaltinių. Taigi tikslesnis minties apie faktorius, nuo kurių priklauso ežero vandens cheminė sudėtis, formulavimas bus toks:

Cheminė ežero vandens sudėtis priklauso nuo šių trijų faktorių: a) nuo ežero vandens pajamų sudėties ir nuo jų pasiskirstymo metų būvyje; b) nuo pakitimų, kurie įvyksta, būnant vandeniui ežere, ir c) nuo ežero vandens išlaidų.

Kaip vidutinėje klimato zonoje vandenų pajamos ir išlaidos pasiskirsto metų būvyje, matyti iš 79 pav., kuriame pavaizduotos Ladogos ežero vandens pajamos ir išlaidos pamėnesiui. Pasirodo, kad išlaidos už pajamas yra lygesnės: jos svyruoja daug švelniau negu pajamos. Pajamos ypačiai būna gausingos balandžio ir gegužės mėnesį.

1. EŽERO VANDENS PAJAMŲ CHEMINĖ SUDĖTIS

Jei ežeras vandens pajamas gautų tik tiesiai iš lietaus, tai ežero vanduo cheminės sudėties atžvilgiu būtų gana grynas, nes lietaus vanduo — destiliuotas vanduo, tačiau iš atmosferos

užgriebęs įvairių dujų ir skysčių: deguonies, azoto, argono, CO_2 , NH_3 , HNO_2 , HNO_3 ir kt. Ledai (kruša) ir sniegas — taip pat grynas kieto pavidalo vanduo, irgi šiek tiek prisigėręs atmosferinių dujų. Jeigu ežeras vandens pajamas gautų tik tiesiai iš atmosferos, tai ežero vanduo būtų šiek tiek rūgščios reakcijos, būtų prisotintas oro ir turėtų nedidelį kiekį amonio druskų.

Tačiau daug didesnė vandens dalis į ežerą suteka betarpiškai upeliais ir upėmis. Be to, dar ežeras gali vandens gauti ir iš požeminių šaltinių. Lietus lyja ne vien ant ežero, bet ir ant jo baseino. Lietaus vanduo pakliūva ant žemės paviršiaus ir į pačią žemę, ten pralobsta įvairiomis medžiagomis ir tomis praturtina paskui ežero vandens cheminę sudėtį. Įtekančiame vandenyje būna ištirpusių ne vien įvairių atmosferinių dujų, bet ir įvairių druskų ir organinių medžiagų. Pagal tai, kokia ežero baseino litologinė struktūra, įtekančiame vandenyje būna kalcio ir magnio karbonatų, kalcio ir magnio sulfatų, taip pat šarminių metalų karbonatų ir sulfatų, natrio chlorido, silicio rūgšties ir kt.

Šių medžiagų vieny upių vandenyje būna daugiau, kitų mažiau. Upių vandens mineralinėmis medžiagomis prisisotinimo laipsnis labai įvairus: nuo beveik gryno vandens ligi okeano vandens ar dar mineralingesnio už okeano vandenį. Vienaime labai mineralizuoto vandens litre būna ištirpusių 20—30 gramų druskų.

Iš organinių junginių, ištirpusių vandenyje, visų pirma tenka pažymėti įvairias vietinės (autochtoninės) ir atneštinės (alochtoninės) kilmės rūgštis.

Jeigu ežero vandens druskingumas priklausytų tik nuo upelių ir upių, tai viena upė druskų duotų daugiau, kita mažiau, vanduo susimaišytų, ir susidarytų druskingumo vidurkis.

2. CHEMINIAI PAKITIMAI, KURIUOS PATIRIA VANDUO, BŪDAMAS EŽERE

Svarbiausi pakitimai, kuriuos patiria vanduo, būdamas ežere, yra šie: praskiedimas, cheminis nusėdimas, medžiagų tirpimas ir pakitimai dėl biologinių procesų.

P r a s k i e d i m a s. Ežero vandenį praskiedžia vanduo, gaunamas tiesiai iš atmosferos. Būdamas gana grynas, jis sumažina ežere druskų koncentraciją.

Cheminės nuosėdos išsiskiria tik tada, kai vanduo būna druskų ar kitų medžiagų prisotintas ar persotintas. Nuosėdų išsiskyrimą veikia įvairūs faktoriai. Svarbiausi iš jų — temperatūros svyravimai ir kai kurios ištirpusios medžiagos.

Prisiminkime, ką pačioje šio skyriaus pradžioje kalbėjome apie cukrų, druską, oro burbuliukus, kylančius iš šildomo vandens, apie indų, kuriuose virinamas vanduo, prikalkėjimą, ir temperatūros svyravimų reikšmę bus mums aiški.

Vienų medžiagų tirpimą vandens temperatūros kilimas skatina, kitų — skatina išsiskyrimą. Ypačiai vandens temperatūros kilimas skatina dujų išsiskyrimą, o vandens temperatūros kritimas remia dujų tirpimą.

Didelę reikšmę išsiskyrimui turi ir k a i k u r i ų m e d ž i a g ų b u v i m a s. Pažymėtinas buvimas CO_2 . Kai ištirpusio CO_2 kiekis vandenyje sumažėja, iškrinta kalcio, magnio ir geležies karbonatinės druskos.

Chemiskai tirpsta druskos, sudarančios uolienas, su kuriomis ežero vanduo šiokių ar tokių būdu susisiečia, t. y. kurios yra ežero krantuose ar dugne. Vanduo tas druskas išplauna ir ištarpina. Iš tokių druskų ir šiaip medžiagų svarbiausios: natrio chloridas, gipsas, šarminių žemių karbonatinės druskos, silicio rūgštis. Įsidėmėtinas, kad karbonatai mažiau tirpūs už bikarbonatus: MgCO_3 mažiau tirpus už $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, taip pat CaCO_3 mažiau tirpus už $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ir t. t.

Biologiniai procesai taip pat labai veikia ežero vandenį, jo, kaip tirpalo, cheminę sudėtį. Juk žaliesiems augalams reikia CO_2 . Chlorofilui suvartojus, sumažėja CO_2 kiekis vandenyje, ir dėl to, kaip esame matę, iškrinta kai kurios druskos. Tie patys žalieji augalai, imdami iš vandens CO_2 , vandeniui duoda deguonies. Gyvūnai ežero vandenį veikia atvirkščiai negu augalai: gyvūnai ima deguonį, o duoda CO_2 ir kai kurias druskas. Augalai ir gyvuliai savo kūno statybai ima iš vandens įvairias medžiagas, pvz., silicio rūgštį, šarminius ir šarminius žemės metalus karbonatų, fosfatų ir kt. pavidalu. Gyviams mirus, visa tai kaupiasi ant dugno, ypačiai prie krantų.

3. VANDENS IŠLAIDŲ ĮTAKA Į EŽERO VANDENS CHEMINĘ SUDĖTĮ

Pagrindiniai vandens išlaidų faktoriai yra išgaravimas ir nutekėjimas, antžeminis ir požeminis. Abu šie faktoriai ežero vandens cheminę sudėtį veikia skirtingai,— veikia beveik priešingomis kryptimis.

Išgaravimas druskų koncentraciją didina. Ypačiai tai reikšminga ežerams be ištako. Išgaruoja grynas vanduo ir išsiskiria dujos, druskos liekasi. Juo daugiau vandens išgaruoja, tuo didesnė darosi ežero vandenyje druskų koncentracija. Ją sumažina lietus. Taigi sausmečiu tokie ežerai būna sūresni, po lietaus ne tokie sūrūs.

Garuoja vanduo ir iš ežerų, kur turi ištaką, ir čia garavimas druskų koncentraciją didina. Vanduo nutekėdamas išsineša ir jame ištirpusias druskas, bet likusio vandens druskingumo nepaliečia. Vis dėlto druskų kiekį ežere sumažina. Taigi, jei druskų niekas iš kitur ežerui nepaduotų, tai ištakas pamažu išneštų visas ežero vandenyje susikoncentravusias druskas. Ištako tendencija — druskų kiekį ežere mažinti.

Druskų esama kiekviename ežere. Aišku, kad sūriajame jų yra daug daugiau negu gėlajame. Viename ir kitame, gėlajame ir sūriajame, ežere druskų koncentracija svyruoja. Dėmesys kreiptinas ne vien į pačią druskų koncentraciją, bet ir į jos svyravimus.

4. EŽERO VANDENS CHEMINĖS SUDĖTIES SVYRAVIMAI

Ežero vandens cheminė sudėtis svyruoja palyginti nežymiai. Tų svyravimų esama dviejų rūšių: metinių periodinių, dažniausiai nežymių, ir vietinių, t. y. priklausančių nuo vietos,— kai kada daug žymesnių.

Metiniai periodiniai cheminės sudėties svyravimai. Ežero intakų druskingumas tam tikru momentu priklauso nuo vandens kiekio, kuris teka tuo momentu intakais. Apskritai imant, juo vandens daugiau, tuo druskų koncentracija mažesnė. Dėl to kai vanduo intakuose aukštas, tai jo sūrumas būna mažesnis, o kai žemas — didesnis. Taigi druskų koncentracija intakuose svyruoja metų būvyje labai žymiai. Gi ežeruose, turinčiuose ištaką ir vandens masę, pranešančią

masę vandenų, ištekęusių į ežerą iš upių per metus, druskų koncentracija svyruoja nežymiai, net nepastebimai.

Paskaičiuokime, kiek druskos reikėtų 1 milijonui m^3 vandens, kad jos koncentracija pakiltų 1 mg/l. Pasirodo, kad reikia visos tonos. Dusios ežeras turi daugiau kaip 343 milijonus m^3 vandens. Gi Dusios ežeras, palygintas su didžiausiais ežerais, yra tik liliputas. Matome, kad didelio ežero vandens masėje druskų koncentracijai paveikti reiktų tų druskų nemažo kiekio. Dėl šios aplinkybės toji koncentracija dideliuose ežeruose metų būvyje mažai svyruoja. Tie svyravimai labiau žymūs uždaruose ežeruose ir klimato, kur sausmečius pakeičia liūty.

Vietiniai svyravimai. Ežero vandens cheminės sudėties svyravimai, priklausą nuo vietos, dažnai būna gana žymūs. Kiekvienas intakas turi savo druskų koncentraciją. Ši koncentracija skirtinga nuo ežero druskų koncentracijos, nes ji, kaip matėme, yra visų intakų druskų koncentracijų vidurkis. Vadinas, tuo tarpu toje ežero vietoje, kur intakas įteka, ežero vandens cheminė sudėtis gerokai pakinta.

Koks tolimesnis į ežerą iš intako pakliuvusio vandens likimas? Šį klausimą panagrinėsime smulkiau. Čia žymų vaidmenį vaidina vandens tankumas, kuris prives prie druskinės ežero vandens stratifikacijos.

Druskinė ežero vandens stratifikacija. Lietaus vandens, kaip chemiškai gryno, tankumas palyginti nedidelis. Dėl to jis, iškritęs ant viso ežero ploto ar ant jo kurios nors dalies, negrimzta, laikosi paviršiuje, paviršinius ežero vandens sluoksnius praskiesdamas. Iš to aišku, kad paprastai ežero vandens viršutinių sluoksnių druskų koncentracija būna mažesnė negu apatinių. Tai sudaro lyg įžangą į druskinės ežero vandens stratifikacijos nagrinėjimą.

Specifinis intakų vandens svoris priklauso nuo trijų faktorių: nuo vandens temperatūros, nuo suspenduoto jame dumblo ir nuo ištirpusių jame medžiagų kiekio. Šie trys faktoriai, kaip savo veikimo rezultatą apsprendžia intako vandens tankumą, o tankumas savo ruožtu nulemia ištekęsio vandens likimą, kuris gali būti įvairus. Jei intako vanduo už paviršinį ežero vandenį lengvesnis, tai jis negrimzta, pasilieka paviršiuje, po jį paplinta; su apatiniais sluoksniais jis susimaišo iš lėto, paprastai vėjui ir srovėms padedant. Kad taip būna iš tikro, rodo

drumsto vandens dėmės šviriame ežero vandens paviršiuje. Tos dėmės išsilaiko ne vieną dieną, o neretai ir ne vieną savaitę.

O jeigu intako vanduo sunkesnis už ežero paviršinį vandenį, tai jis grimzta, ir grimzta ligi tolei, kolei pasiekia sluoksnį atitinkamo tankumo ir ima viršum jo skleistis.

Pagaliau, jeigu intako vanduo sunkesnis už visų ežero vandens sluoksnių vandenį, tai jis nugrimzta ligi dugno ir ima dugnu plisti, pripildydamas ežero centrinę įdubą.

Taigi intako vanduo, pagal savo tankumą, gali paveikti ežero vandens paviršinių sluoksnių sudėtį, o taip pat vidurinių ir esančių prie pat dugno.

Rodos, viskas paprasta ir nekomplikuota. Iš tikrųjų čia proceso esama daug sudėtingesnio. Mat, du faktoriai, apsprendžią intako vandens tankumą, yra labai nepastovūs: tai vandens temperatūra ir jame suspenduoto dumblo kiekis. Šiuodu faktoriai labai lengvai kinta, ir dėl to intako vandens, įtekėjusio į ežerą, temperatūra gana greit pasidaro lygi ežero vandens temperatūrai; tat įtekėjusio vandens tankį arba padidina, arba sumažina, o suspenduotas dumblas nusėda; tat vandens tankį sumažina. Intako vandens tankiui pakitus, turi kisti ir jo padėtis ežero vandens masėje, turi jis keltis į naują tos masės vietą pagal savo tankį, kurį šiuo tarpu apsprendžia pastoviausias faktorius — ištirpusios druskos. Kai tik intako vanduo, taip pakitęs ir maišydamasis su kitais vandenimis, užima galutinę savo vietą, jis ir druskų koncentracijos atžvilgiu susilygina su ežero vandeniu,— virsta tikru ežero vandeniu.

Druskinė vandens stratifikacija vyksta ir toliau tokiu pat būdu: tankesnis, taigi ir sunkesnis, vanduo keliauja dugno linkui, o retesnis, taigi ir lengvesnis, liekasi arčiau paviršiaus.

Druskinėi stratifikacijai daugiausia reikšmės turi ta druska, kuri dominuoja, kurios daugiausia. Kitos, kiekio atžvilgiu antraeilės, druskos būna pasklidusios maždaug tolygiai po visą ežero vandens masę.

Atkreipsime dėmesį dar į tokį faktą. Įsivaizduosime, kad į ežerą įtekėjo dvi vienodo tankio, bet nevienodos cheminės sudėties masės: vienoje yra ištirpusio kalcio karbonato, o kitoje gipso. Aišku, kad abi masės turės nusileisti ligi atitinkamo tankio vandens sluoksnio. Iš pradžios bus jos viena nuo kitos atskirėžusios, bet netrukus prasidės difuzijos procesas: gipsas ir

kalcio karbonatas ims eiti į ežero vandenį, o į naująsias mases ims eiti tame ežero vandens sluoksnyje dominuojanti druska ir kitos druskos. Abi masės dalies savo druskų neteks, užtat gaus naujų druskų, ir pagaliau cheminė sudėtis vandens masėje išsilygins.

Gali iškilti klausimas: ar neardo tokios druskinės stratifikacijos konvekcinės srovės? Juk šitos srovės temperatūrinę stratifikaciją labai veikia, besistengdamos padaryti visos ežero vandens masės temperatūrą vienodą.

Į šią klausimą atsako faktas, kad tam tikro laipsnio sūrumas yra ežero vandens savumas, vienintelis pastovumo atžvilgiu. Jei konvekcinės srovės druskinę stratifikaciją ardytų, net panaikintų, padarytų ežero vandenį cheminiu atžvilgiu vienodą, kaip padaro jį vienodos temperatūros, tai tokio reiškimo, kaip ežero vandens sūrumo pastovumas nebūtų, nes sūrumas turėtų kisti. Iš tikro. Sakykime, kad paviršinis vanduo atvėso ir dėl to jo tankis padidėjo. Taigi vandens tankis pakito, bet pakito dėl temperatūros pakitimo, o ne dėl druskingumo pakitimo. Vandens druskingumas pasiliko tas pats, tai ir, kiek nuo druskingumo priklauso, vandens tankumas pasiliko tas pats. Taigi druskingumas tokiu atveju į tankių skirtumą neturi jokios įtakos. Vis dėlto dėl temperatūros pakitimo tas tankių skirtumas susidarė. Bet šis skirtumas nesąlygoja druskingumo. Iš tikro. Vanduo, atvėšęs ir pasidaręs sunkesnis, grimzta ligi sluoksnio, kurs turi tokią pat temperatūrą, ir viršum jo plinta, pasilikdamas to paties druskingumo, kaip buvo. Pasiiektasis sluoksnis pasilieka irgi tokio pat druskingumo, kaip buvo. Tokiu būdu šios vidujinės srovės, sąlygotos terminės konvekcijos, kaip tik duoda druskinės stratifikacijos pastovumo efektą.

Druskinę stratifikaciją gali paveikti vien tik vėjas, mechanškai vandenį maišydamas ir viena kryptimi varydamas. Šiai srovei atsiranda kompensacinė srovė viduriniuose ežero vandens sluoksniuose. Dideli gyliai druskingumo atžvilgiu liekas nepaliesti. Taigi gėlyjų ežerų druskinė stratifikacija būdinga tuo, kad gilesni sluoksniai būna druskingesni negu paviršiniai.

Antžeminis ištakas vandenį nutraukia nuo ežero paviršiaus, kuris mažiau druskingas negu visas kitas vanduo. Kas kita požeminis ištakas: jis pašalina kaip tik druskingesnį vandenį. Savo ruožtu požeminiai intakai gali ežero vandenį druskomis praturtinti.

5. DUJOS EŽERO VANDENYJE

Intakų vanduo prisigeria dujų, kai tekėdamas susiliečia su atmosferos oru ir kai prilyja. Vanduo prisigeria deguonies, azoto, argono ir CO_2 . Toks vanduo, pakliuvęs iš intakų, ežerą pravėdina.

Taip pat ežerą pravėdina vėjas. Jo dėka ežero paviršinis vanduo su oru dar glaudžiau susiliečia negu tylos metu, dėl to vanduo gali daugiau prisigerti deguonies ir kitų dujų.

Pažymėtina, kad pavasarį ir rudenį, padidėjus ežero vandenų sąmaišai, pagerėja jų aeracija; pavasarį ir rudenį ežere įsigali ne vien homotermija, bet ir dujinis ežero vandens masės režimas atsinaujina.

Nuo vandens druskingumo dujingumas mažai priklauso. Tačiau gilumas turi reikšmę, kuri verta dėmesio. Tai mes atskirai kalbėsime apie viršutinių sluoksnių dujingumą ir apie žemutinių sluoksnių dujingumą.

Dujos viršutiniuose ežero vandens sluoksniuose. Ežero paviršius nuolatos susisiečia su atmosfera, tai dujos iš atmosferos į vandenį ar iš vandens į atmosferą patenka betarpiškai. Tam patekimui labai didelę reikšmę turi du veiksniai: vandens temperatūra ir atmosferos slėgis.

Apie pirmąjį jau pirmiau kalbėjome, nurodydami, kad vandens temperatūra paprastai kietų medžiagų tirpimą veikia tiesiogiai, o dujų tirpimą — atvirkščiai, t. y. juo aukštesnė vandens temperatūra, tuo lengviau daugelis kietų medžiagų tirpsta ir daugiau jų ištirpsta, o dujos lengviau išsiskiria ir daugiau jų išsiskiria.

Nuo atmosferos slėgio dujų tirpumas priklauso tiesiogiai. Dėl to žemumų ežeruose dujų ištirpsta daugiau, o kalnų ežeruose mažiau.

Tiek vandens temperatūra, tiek atmosferos slėgis tolydžio kinta ir jų įtaką viršutiniams ežero vandens sluoksniams galima taip nusakyti: viršutiniuose ežero vandens sluoksniuose dujų būna gausiau, barometrui kylant, o vandens temperatūrai krintant, ir atvirkščiai: viršutiniuose ežero vandens sluoksniuose dujų kiekis sumažėja, barometrui krintant, o vandens temperatūrai kylant. Tačiau dujų kiekio kitimas būna žymiai ryškesnis dėl vandens temperatūros pakitimo negu dėl atmosferos slėgio pakitimo. Vandens temperatūrai pakitus nuo 0 ligi 25°C ,

dujų sugeriamumas sumažėja 30 ir net 40%, tuo tarpu vykstant didžiausiems slėgio svyravimams, dujų sugeriamumas svyruoja tik 6% ribose.

Paprastai viršutinis vanduo būna dujų prisisotinęs. Jei ne visai būna prisisotinęs, tai ir toliau dujas iš atmosferos geria, o jei persisotina, tai dujos ima eiti iš vandens į atmosferą: vandenyje susidaro dujų pūslelės, burbuliukai, kurie kyla į viršų ir iškilę sprogsčia.

Apskritai, paviršinis ežero vanduo būna prisisotinęs atmosferinių dujų, taip pat būna gerai vėdinamas ir dėl CO_2 gausumo jo reakcija būna silpnai rūgšti.

Ši vaizdą komplikuoja įvairios įtakos. Kaip žinome, biologinis pasaulis telkiasi daugiausia skaidriuosiuose vandens sluoksniuose,—telkiasi ten, iki kur pajėgia įsiskverbti šviesa. Biologiniam pasauliui,— tiek mikroorganizmams, tiek makroorganizmams reikia dujų,— deguonies ir CO_2 . Gyvuliai sunaudoja deguonį, augalai — CO_2 . Tai gana veikia cheminę ežero vandens sudėtį. Be to, gyvi padarai miršta, jų lavonai pūva. Šiuo atveju taip pat atsiranda įvairių dujų. Tačiau metanas ir kitos tokios dujos sunkiai vandenyje tirpsta, dėl to susidaro vandenyje tų dujų pūslelės, jos kyla į viršų ir iškilusios sprogsčia, kaip ir oro burbuliukai.

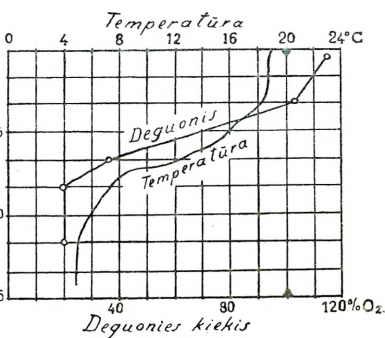
Dujos žemutiniuose ežero vandens sluoksniuose. Giliųjų sluoksnių vanduo betarpiškai su atmosfera nesusisiečia. Bet buvo metas, kad susisiektų; susisiektė tada, kai tas vanduo buvo paviršiuje: intake — upėje ar upelyje. Jis ten ir dujų prisigėrė, žinoma, tik tiek, kiek leido vandens temperatūra ir 1 atmosferos slėgimas. Toks vanduo, pakliuvęs dėl savo tankumo į gelmes, tik maždaug tiek ir tokių dujų teturi.

Be šito kelio, dujos į giliuosius sluoksnius iš paviršiaus patenka dar difuzijos keliu. Šiuo keliu pirma dujų gauna vidutiniai sluoksniai, vėliau patys gilieji. Difuzijos kelias yra gana sunkus. Mat, difunduoti dujos gali tik iš to sluoksnio, kuriame slėgimas yra didesnis už normalų. Gi paviršiniuose sluoksniuose slėgimas paprastai būna normalus. Vis dėlto difuzijai gali susidaryti reikalingos sąlygos. Tačiau gilesnieji sluoksniai iš paviršinių sluoksnių dujų gauti gali daugią daugiausia tiek, kiek jų yra paviršiniuose sluoksniuose, ne daugiau, nors ir labai būtų gilesniųjų sluoksnių dujų sugeriamumas pajėgus.

Nepamirštinos dar ir terminės konvekcinės srovės. Paviršiaus vanduo atvėsęs nugrimzta gilyn su sugertomis dujomis, kurių šaltas vanduo gali prisigerti daugiau negu šiltas. Bet ir šiuo keliu į gilesnius sluoksnius negali dujų pakliūti daugiau, negu jų yra paviršiniuose sluoksniuose.

Ir giliuose sluoksniuose dujingumo vaizdą komplikuoja įvairios biologinės ir cheminės kilmės įtakos. Čia pastebėtinai vienas reiškinys, būtent, deguonies ir CO_2 šuoliai, panašūs į temperatūros šuolį.

Deguoninis ir temperatūrinis šuoliai. Tuose sluoksniuose, į kuriuos saulės šviesa neįsiskverbia, negali augti žalieji augalai, tai ten CO_2 chlorofilo nesunaudojamas. Dėl to CO_2 giliuosiuose sluoksniuose ima gausėti, gi deguonies kiekis ima mažėti. Daž-

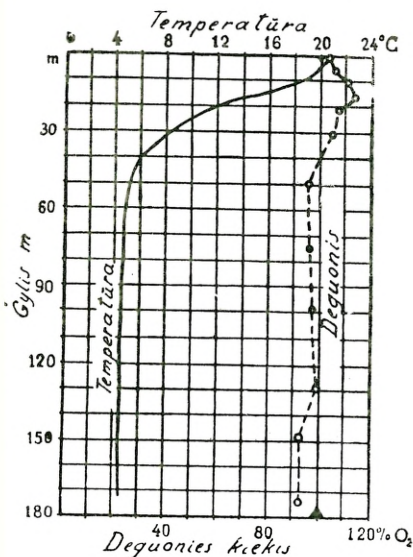


80 pav. Temperatūrinis ir deguoninis šuoliai

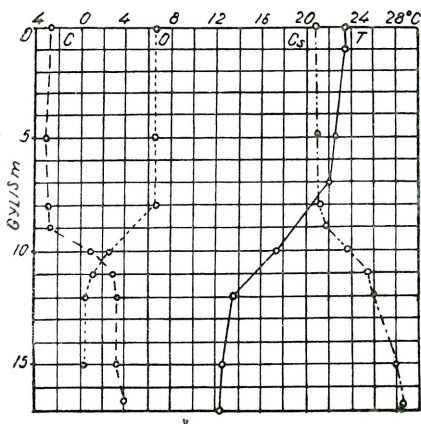
nai susidaro deguonies šuolis, panašus į temperatūrinį šuolį, net einas su juo lygia greta (80 pav.).

Toks deguoninis šuolis gali ir nesusidaryti, nors temperatūrinis šuolis gana ryškus (81 pav.). Taip pat susidaro ir CO_2 šuolis, simetriškas deguoniniam šuoliui (82 pav.). Konkrečiai deguonies kiekį ežero vandenyje pavaizduoja 83 pav. Konkretus deguonies vandenyje pasisklidimo vaizdas gali būti daug sudėtingesnis (84 pav.).

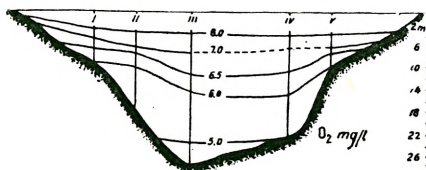
Šitą skyrelį baigdami, atkreipsime dėmesį į vandens



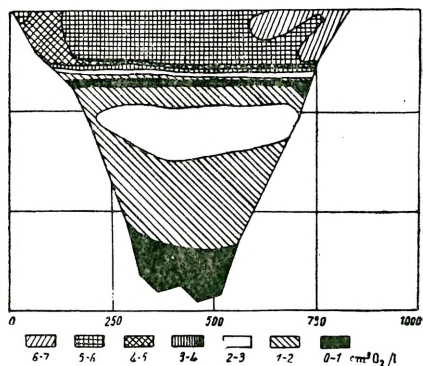
81 pav. Temperatūrinis šuolis ryškus, o deguoninio nėra



82 pav. Temperatūra (T), deguonis (O), laisvasis CO_2 (C) ir surištas CO_2 (C_s)



83 pav. Deguonies pasiskirstymas žiemą (1911.III.5) ež. Glubokoje (pagal Rosolimą ir Kuznecovą)



84 pav. Deguonies pasiskirstymas rudenį (1928.IX.2) ež. Glubokoje (pagal Karzinkiną ir Kuznecovą)

rūgštingumą ir į baltymų puvinimo procesą.

Vandens rūgštingumas sužinomas iš pH, t. y. vandenilio jonų koncentracijos. Rūgštingumas taip pat duoda šuolį. Tai matyti iš 85 pav.

Pūvant baltymams, atsiranda sieros vandenilio, o pūvant augalinei ląstelienei atsiranda metano. Tai pajvairina giliųjų vandens sluoksnių cheminės sudėties vaizdą.

Metanas (CH_4) sunkiai tirpsta vandenyje, dėl to jis, pūslelėmis kildamas į viršų, iš vandens pasišalina. Sieros vandenilis (H_2S) vandenyje gana gerai tirpsta: $20^\circ C$ temperatūroje viename vandens tūryje ištirpsta 2,4 tūrio sieros vandenilio. Toks tirpalas vadinamas sieros vandenilio vandeniu, bet tokiu vandeniu laikyti ežero giliųjų sluoksnių vandenį netikslu, nes sieros vandenilio koncentracija tuose vandens sluoksniuose maža.

6. ORGANINĖS IR BIOGENINĖS MEDŽIAGOS EŽERO VANDENYJE

Ežero vandenyje esama ištirpusio tam tikro kintamo kiekio organinių ir bio-

geninių medžiagų. Jos į ežero vandenį patenka iš įvairių veiksnių:

a) iš lietaus vandens, tų medžiagų gaunančio iš atmosferos;

b) iš intakų vandens, į kurią tos medžiagos pakliūva iš dirvožemio ar tiesiai nuo gyvūnų ir žmonių, ir

c) iš gyvūnų ir augalų, ežere gyvenančių bei augančių, o taip pat ir iš mirusių.

Iš tų medžiagų pažymėtinos:

a) fosfatai;

b) silicio rūgštis;

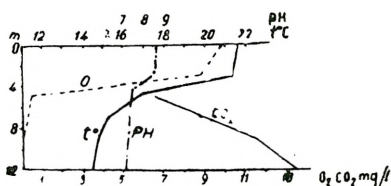
c) NH_3 , t. y. amoniakas, ir įvairių griuvimo stadijų baltyminės medžiagos;

d) HNO_2 , t. y. nitritinė rūgštis, ir HNO_3 , t. y. azoto rūgštis.

Konkretus organinių medžiagų kiekis ežero vandenyje retai prašoka 10 mg/l, dar rečiau 20 mg/l.

Iš biogeninių medžiagų, esančių ežero vandenyje, svarbiausios: azotas, fosforas, geležis ir silicis. Esama dar ir ežero vandenyje ir vadinamųjų mikroelementų — mangano ir vario, kurie taip pat svarbūs gyviesiems padarams. Smulkiau pakalbėsime apie azotą, fosforą, geležį ir silicį ir tuo ežero chemizmo skyrių baigsime.

Azotas ežero vandenyje pasitaiko laisvas, dujinio pavidalo, ir sudėtyje jonų nitratinio (NO_3^-), nitritinio (NO_2^-) ir amonio (NH_4^+), kuris gali būti mineralinis (amoninis) ir organinis (albumoidinis). Dujinį azotą paviršinis ežero vanduo absorbuoja iš atmosferos. Daugelis kitų azoto formų į ežero vandenį patenka, yrant įvairioms organinėms medžiagoms. Sudėtingas azoto formų kompleksas, susidaręs ežero vandenyje, laiduoja kitimą įvairių fitoplanktono formų, iš kurių vienos geriau auga dėl nitratinio azoto, o kitos — dėl druskinio ar organinio amoniako. Nitratai ir nitritai, vasarą vandeniui „žydint“, neretai visiškai sunaudojami besivystančio fitoplanktono ir tik vėliau, atėjus šaltam metų laikui ir ėmus planktonui mirti bei irti, jie vėl sugrįžta į ežerą.



85 pav. Temperatūra, deguonis, CO_2 ir pH 1935.VI. 26 ež. Bieloje, Kosine (palei Maskvą)

Azoto reikalingas ne tik fitoplanktonas, bet ir kiti augalai, pavyzdžiui, visiems žinomoji plūdena (*Lemna*) — kūdrų augalas, kuris jas neretai apkloja, kaip koks kilimas. Nustatyta, kad plūdena veikia ir visiškai sunaudoja azoto junginius. Plūdena ežeruose taip neįsigali, kaip kūdrose. Iš to matyti, kad azoto junginių koncentracija ežeruose daug mažesnė negu kūdrose.

Fosforas, kaip ir azotas, ežero vandenyje būna organinių junginių sudėtyje ir joninėje būklėje. Fosfatinio jono pavidalo fosforo gėliųjų ežerų vandenų esama labai mažų kiekių, matuojamų miligramo šimtosiomis, net tūkstantosiomis viename litre; dešimtosios dalys miligramo viename litre, pasitaikančios kai kurių ežerų vandenyje, jau laikomos dideliu dydžiu.

Fosfatų maksimumas pastebimas žiemą. Vegetacijos periode fosfatai kai kada visiškai sunaudojami fitoplanktono ir bakterijų, ir grįžta į vandens masę tik organizmams mirus. Dalis fosfatų patenka į netirpstančius junginius ir nusėda ant dugno. Yra konstatuota, kad ežeruose esama bakterijų, paverčiančių netirpstančius fosforo junginius vandenyje tirpstančiais.

Geležis ežero vandenyje (kaip ir kituose natūraliuose vandenyse) būna dviejų formų Fe^{+++} ir Fe^{++} , o taip pat kolidinėje būklėje ir organiniuose kompleksuose. Fe^{++} forma nepatvari ir dėl deguonies ir tam tikrų bakterijų veikimo pereina į formą Fe^{+++} . Šitai gali įvykti ir grynai cheminiu būdu.

Kad tirpale galėtų susitelkti didesnis geležies kiekis, būtina rūgšti aplinka arba artima jai, o tam reikia, kad pakiltų CO_2 koncentracija. Mažuose vandens telkiniuose CO_2 daugiau būna žiemą ir pavasarį, o vasarą mažiau, nes CO_2 sunaudoja žalieji augalai. Dideli vandens telkiniai CO_2 atžvilgiu nėra tokie jautrūs ir juose CO_2 koncentracijos žiemos ir vasaros skirtumas pasireiškia mažesnėse ribose. Tai sąlygoja ir geležies cirkuliavimą. Jo sezoniškumui ypačiai jautrūs nedideli vandens telkiniai.

Geležis ežero vandenyje būtinai reikalinga fitoplanktonui. Trūkstant geležies, žaliesiems augalams pasireiškia chlorozė, o vėliau jie ir visai žūva. Kai kurie vandeniniai augalai geležiai labai jautrūs. Esama ir nelabai jautrių geležiai augalų.

Bet ir per didelė geležies koncentracija augalams būna žalinga. Augalai geležimi lyg apsinuodija. Tai lengva pastebėti, kur į vandens telkinį įteka geležingi šaltiniai.

Silicis ežero vandenyje, kaip ir visuose gėluosiuose vandenyse, būna silicio rūgšties (H_2SiO_3) sudėtyje ir jos derivatuose, tame skaičiuje koloiduose tokios sudėties: $\text{SiO}_2 \cdot n \cdot \text{H}_2\text{O}$. Silicio rūgšties reikšmė ežere pakyla dėl tos aplinkybės, kad jame auga daug diatominų dumblių, gausiai randamų planktone ir bentose. Diatominiams dumbliams mirus, dalis silicio grįžta į vandenį ir dalis nusėda ant dugno su mirusių organizmų liekanomis.

7. LIETUVOS TSR EŽERŲ VANDENS CHEMIZMAS

a) Pasirėmus visų pirma Dubingių ež. duomenimis (suteiktais A. Garunkščio)

Deguois (O_2). Pagrindinis šaltinis, iš kurio ežerų vandens masė gauna deguonies, yra apatiniai atmosferos sluoksniai. Savime aišku, kad vandens paviršinių sluoksnių sąlytis su apatiniais oro sluoksniais būna daug ryškesnis, kai tie sluoksniai, oro ir vandens, būna neramūs,—kada pučia vėjas ir vanduo banguoja. Bangavimo metu ežero vandenyje daug deguonies ištirpsta.

Deguonies koncentracija ežerų vandens masės nebūna viena. Tai priklauso nuo eilės faktorių, ne vien nuo bangavimo. Tai priklauso apskritai nuo vandenų sąmaišos, nuo srovių, o taip pat nuo temperatūros, nuo organizmų veiklos,—nuo biocheminių ir cheminių redukcinių-oksidacinių procesų.

Paprastai žemesnės temperatūros vandenys pasižymi didesniu deguonies kiekiu, o aukštesnės — mažesniu. Tačiau tyrimai parodė, kad ežeruose nors apatiniai vandens sluoksniai pasižymi žemesne temperatūra negu viršutiniai, bet viršutiniuose sluoksniuose deguonies esama daugiau negu apatiniuose. Deguonies koncentracija paviršiniuose vandens sluoksniuose yra didesnė negu apatiniuose; einant nuo paviršiaus gilyn, deguonies koncentracija mažėja. Net stagnacijos metu vasarą paviršiniuose vandens sluoksniuose deguonies koncentracija būna didesnė negu apatiniuose. Tai sąlygoja fotosintezė. Taip pat turi reikšmės deguonies pasiskirstymui ir organinių medžiagų oksidacijos procesai, kurie vyksta visoje vandens masėje, bet intensyviausiai priedugniniame vandens sluoksnyje. Savime aišku, kad oksidacijos procesai deguonies koncentraciją

vandenyje veikia neigiamai, t. y. mažina, o fotosintezė veikia teigiamai,— deguonies koncentraciją didina.

Deguonies koncentracijos mažėjimas, einant gilyn, Lietuvos TSR ežeruose nėra tolydinis, palaipsniškas.

Pavyzdžiui, Dubingių ežero epilimniono viršuje didžiausia deguonies koncentracija aptikta liepos mėnesio pabaigoje. Ji buvo lygi 10,71 mg/l; tat sudaro 113% normaliosios deguonies koncentracijos viršutiniuose vandens sluoksniuose, o 5 m gylyje deguonies koncentracija buvo lygi 9,45 mg/l, t. y. buvo lygi normaliajai šiame horizonte deguonies koncentracijai, visam 100 jos procentų. Taigi Dubingių ežere vasaros metu virš temperatūrinio šuolio sluoksniu slūgso vandens sluoksniu, kurį fotosintezės procesai ir gera vandens aeracija prisotina deguonimi.

Deguonies koncentracija temperatūrinio šuolio sluoksnyje žymiai sumažėja, nepaisant to, kad vandens temperatūra žemesnė. Pavyzdžiui, 10 m gylyje deguonies koncentracija siekia 5,8 mg/l, t. y. 50% normaliosios šiame gylyje. Šio reiškinio priežastis — vandenų sąmaišos ir fotosintezės temperatūrinio šuolio sluoksnyje, metalimnione, susilpnėjimas.

Žemiau temperatūrinio šuolio sluoksniu, kur vasaros metu deguonis beveik nepatenka iš viršutinių vandens sluoksnių ir kur sustiprėja oksidacijos procesai, deguonies koncentracija užfiksuota dar mažesnė. 40 m gylyje deguonies kiekis nukrinta iki 0,35 mg/l, sudarydamas tik 7% normaliosios šiame gylyje koncentracijos.

Imant horizontaliai, tai ir čia deguonies kiekis tame pačiame horizonte būna nevienodas. Ypačiai didelis deguonies koncentracijos skirtingumas konstatuotas įvairiuose priedugninio vandens sluoksniu taškuose. Tai galima paaiškinti tik skirtinga dugno struktūra, o taip pat dumblių ir priedugniniame vandenyje vykstančių biocheminių procesų nevienodu intensyvumu.

Suintensyvėjus vandenų sąmaišai, deguonies koncentracija ežero vandens masėje išsilygina ir svyruoja 8—9 mg/l ribose.

Pažymėtina, kad deguonies koncentracija vasaros metu kinta ir vienos paros būvyje. Ypačiai šis kitimas ryškus priekrantinėje zonoje. Pelaginėje ežero dalyje šie deguonies koncentracijos paros svyravimai nėra aiškūs, nes juos užtušuoja sudėtingi dinaminiai reiškiniai.

Stebėjimai rodo, kad Dubingių ežere giedrą vasaros dieną, kylant vandens temperatūrai, deguonies koncentracija didėja. Koncentracijos maksimumas, būtent 10,67 mg/l, konstatuotas 15 valandą. Silpnėjant fotosintezės procesams, deguonies kiekis vandenyje ima mažėti. Minimalinė koncentracija, būtent, 7,32 mg/l, rasta 3 valandą (naktį).

Anglies dioksidas CO_2 ir pH. Anglies dioksido ežero vandens masėje atsiranda dėl organinių medžiagų skilimo ir nežymia dalimi — kvėpuojant vandenyje gyvenantiems gyviams. Taip pat CO_2 į ežerą gali patekti su gruntiniais ir intakų vandenimis. CO_2 sunaudojamas fotosintezės metu, o jo perteklius, vykstant vandenų sąmaišai, patenka į atmosferą.

Vasaros stebėjimai parodė, kad anglies dioksidas horizontalia kryptimi pasiskirsto nevienodai, ir jo koncentracija vandens paviršiuje žymia dalimi priklauso nuo saulės radiacijos intensyvumo. Giedrą liepos mėnesio dieną Dubingių ežere ištirpusio CO_2 koncentracija vandens paviršiuje lygi nuliui, o esant dangui debesuotam, CO_2 kiekis padidėja iki 0,8 mg/l.

Patirta, kad, didėjant gyliui, didėja ir CO_2 koncentracija. Apskritai imant, vasaros metu CO_2 pasiskirstymas vertikalioje kryptimi yra priešingas deguonies pasiskirstymui. Pavyzdžiui, 5 m gylyje CO_2 kiekis lygus 2 mg/l, temperatūrinio šuolio sluoksnyje siekia 8—9 mg/l, o žemiau temperatūrinio šuolio sluoksnio CO_2 kiekis pasiekia 25,36 mg/l, o kartais net 33,6 mg/l (40 m gylyje).

Rudens metu, kai suintensyvėja ežero vandens sąmaiša, CO_2 koncentracija vertikalioje kryptimi beveik išsilygina.

*

Vandens aktyvioji reakcija (jo pH) glaudžiai siejasi su anglies dvideginio režimu vandenyje. Paprastai, kuo daugiau vandenyje yra CO_2 , tuo mažesnis vandens pH, t. y. tuo didesnė vandenilio jonų koncentracija.

Bendrai imant, aktyvioji vandens reakcija Lietuvos TSR ežeruose yra šarminė. Pavyzdžiui, vasaros metu Dubingių ežere vandens paviršiuje pH yra lygus 8,4. Visas epilimnionas, t. y. visas viršutinis 5 metrų storio vandens sluoksnis, turi vienodą pH dydį. Einant gilyn, pH mažėja ir prie dugno, 40 m gylyje, pH būna lygus 7,4—7,2.

Pasitaiko ir tokių atvejų, kada pH būna mažesnis kaip 7,0, t. y. susidaro rūgšti aplinka. Rūgšti aplinka pasitaiko tik priedugninėje ežero dalyje. Pavyzdžiui, Ažvinčių ežere prie dugno pH yra rastas lygus 6,82.

Rudenį, suintensyvėjus ežero vandens sūmaišai, pH dydis irgi suvienodėja, kaip ir CO_2 ar O_2 koncentracija ir temperatūra.

b) Pasirėmus Kryžiuočių ir Platelių ežerų duomenimis

I. Klimkaitės (1959) patyrimu, Kryžiuočių ež. vandens masėje galima išskirti sluoksnius, kurių cheminiai rodikliai yra vienodi, bet kurių storis ir atstumas nuo ežero vandens paviršiaus atskirose ežero vietose yra tiesiai proporcingas ežero gyliui. Vasarą tokių sluoksnių esama penkių.

Pirmajame sluoksnyje (iki 5–6 m gylio) konstatuota aukščiausia vandens temperatūra — iki 20°C , didžiausia deguonies koncentracija — apie 10 mg/l ir pH dydis, lygus 8,2. Planktono fotosintezės procesai sunaudoja CO_2 , todėl jo kiekis viršutiniuose vandens sluoksniuose vasarą sumažėja iki minimumo, o tam tikrais atvejais iki nulio. Kartu sumažėja hidrokarbonatų jonų koncentracija, kuri liepos mėn. viduryje ežere tesiekia 175,6 mg/l, nes, sumažėjus CO_2 kiekiui, atitinkamai sumažėja hidrokarbonatų tirpumas vandenyje. Geležies jonų šiame sluoksnyje visai nėra.

Antrajame vandens sluoksnyje (nuo 5–6 m iki 10–12 m gylio) vandens temperatūra tuo pačiu metu staigiai sumažėja iki $6,6^\circ$ (10 m gylyje). Tai temperatūrinio šuolio sluoksnis. Konstatuotas ištirpusių organinių medžiagų kiekio padidėjimas. Planktono oksidacijai sunaudojamas deguonis, todėl jo koncentracija šiame sluoksnyje sumažėja, bet lygiagrečiai atitinkamai padidėja CO_2 kiekis iki 10 mg/l (10 m gylyje); pH dydis čia siekia iki 7,6. Dėl CO_2 koncentracijos padidėjimo šiame sluoksnyje ima tirpti karbonatų kristalai, kurie patenka iš viršutinio vandens sluoksnio ir padidina HCO_3^- jonų koncentraciją iki 181,7 mg/l. Šio sluoksnio apatinėje dalyje konstatuoti geležies jonų pėdsakai.

Trečiajame vandens sluoksnyje (nuo 12 iki 25 m gylio) planktonas skyla ir oksiduojasi toliau, didėja ištirpusių organinių medžiagų kiekis. Deguonies kiekis sumažėja iki 3,8 mg/l (25 m

gylyje). CO_2 padidėja iki 25 mg/l, hidrokarbonatų koncentracija pakyla iki 193,9 mg/l (20 m gylyje), o geležies jonų kiekis čia siekia nuo 0,05 iki 0,10 mg/l.

Ketvirtajame vandens sluoksnyje (giliau kaip 25 m) planktono kiekis sumažėja ligi minimumo. Deguonies koncentracija sumažėja iki 2,0 mg/l, CO_2 kiekis didesnis kaip 30 mg/l (30 m gylyje), hidrokarbonatų — apie 208,2 mg/l, o geležies jonų koncentracija — 0,50 mg/l.

Penktasis, arba priedugninis vandens sluoksnis labai plonas. Jo storį sunku tiksliai nustatyti. Į šį sluoksnį patenka beveik visai suskilusio fito ir zooplanktono likučiai, kurie nespėjo susioksidinti vandens masėje, sėsdami dugno linkui.

Liepos-rugpiūčio mėnesiais 40 m gylyje O_2 koncentracija būna 0,4—0,3 mg/l (esant 4°C temperatūrai). Dydis pH sumažėja iki 7,0, bet užtat kitų cheminių komponentų koncentracijos tuo pačiu metu turi maksimalines reikšmes; ištirpusių organinių medžiagų kiekis — 6,2 mgO/l (XI.11), CO_2 koncentracija — 35,2 mg/l, hidrokarbonatų jonų — 256,2 mg/l ir geležies jonų — 2,00 mg/l.

Seklesnėse ežero vietose vandens masę taip pat galima suskirstyti į tik aprašytus penkis, bet mažesnio storio, vandens sluoksnius.

Taigi pagal vyraujančių cheminių komponentų koncentraciją ir charakteristikų gradientų pasiskirstymą Kryžiuočių ežere galima išskirti šiuos vandens sluoksnius: 1) maksimalinių deguonies, planktono koncentracijų, minimalinių CO_2 , hidrokarbonatų koncentracijų, geriausio apšvietimo, aukščiausiosios temperatūros ir didžiausio pH sluoksnį; 2) staigaus deguonies, planktono, temperatūros, pH mažėjimo ir staigaus CO_2 , hidrokarbonatų jonų didėjimo sluoksnį; 3) ir 4) palaipsninio deguonies, planktono, temperatūros, pH mažėjimo ir palaipsninio CO_2 , hidrokarbonatų ir geležies jonų didėjimo sluoksnius; pagaliau 5) oksidacijos-redukcijos sluoksnį, t. y. maksimalinių CO_2 , hidrokarbonatų, geležies, ištirpusių organinių medžiagų koncentracijų ir minimalinių deguonies koncentracijos, pH ir temperatūros dydžių sluoksnį.

Iš cheminių, fizinių ir biologinių rodiklių nagrinėjimo matyti, kad vykstančių Kryžiuočių ežero vandens masėje biocheminių ir mikrobiologinių procesų pobūdis priklauso nuo ežero gylio. Atskirose ežero dalyse, kurių gylyiai yra vienodi, hidroche-

miniai ir hidrobiologiniai procesai taip pat yra labai panašūs. Hidrocheminių ir hidrobiologinių procesų kitimai priklauso nuo gylio, šie procesai yra gylio funkcija.

Šios kelios iš I. Klimkaitės darbo paimtos žinios yra graži iliustracija visam tam, kas apie ežerų chemizmą buvo ligi šiolei sakyta.

*

A. Bunikis (1959), tirdamas Platelių ež. terminiu ir cheminiu atžvilgiu, priėjo tokias išvadas:

1. Platelių ežere į supančio oro temperatūros pakitimus jautriau reaguoja vidutinio gylio vandens sluoksniai negu giluminiai.

2. Apskritai ežeras pasižymi geru dujiniu režimu. Vidutinio gylio sluoksniuose sezonų būvyje vandens įsotinimas deguonimi bei jo aktyvioji reakcija mažai tesikeičia. Dienos metu laisva ištirpusi angliarūgštė čia visa suvartojama fotosintezės procesų.

Pradedant vasara, giluminėje zonoje išryškėja dujinio režimo komponentų stratifikacija.

3. Ežero vanduo mineralizuotas silpnai (bendra jonų suma Σ_j nebuvo didesnė kaip 171,0 mg/l), minkštas (kietumas, išreikštas vokiškais laipsniais, svyravo nuo 4,2 iki 5,4).

4. Platelių ežeras ne per daug turi biogeninių elementų.

Pagrindinė vandenyje esančių organinių medžiagų dalis yra planktoninės kilmės.

5. Hidrocheminiu požiūriu Platelių ežere esama palankių sąlygų veistis oksifilinėms žuvims.

Pateiksime dar vieną kitą konkretų duomenį apie Platelių ežerą. Vasarą vandens paviršiuje rasta 8,8 mgO/l, o prie dugno, 46 m gylyje, — 6,3 mgO/l. Spalio mėnesį giluminiuose sluoksniuose laikosi tik 3,5 mgO/l. Deguonies kiekis giluminiuose sluoksniuose į rudenį nuosekliai mažėjo.

Laisvojo, t. y. neištirpusio, CO₂ vidutinio gylio sluoksniuose nerasta. Giluminiuose sluoksniuose (46 m gylyje) rugpiūčio mėnesį CO₂ rasta 5,3 mg/l, o spalio pradžioje — 7,5 mg/l.

Vidutinio gylio sluoksniuose aktyvioji vandens reakcija svyravo nuo pH 7,9 ligi pH 8,2. Giluminiuose sluoksniuose konstatuotas pH mažėjimas, gyliui didėjant: rudenį vandens paviršiuje pH buvo 7,9, o priedugniniame sluoksnyje — 7,0.

c) Pasirėmus visais, ligi 1960 m.
surinktais, duomenimis

Hidrocheminio ežerų režimo tyrimo srityje Lietuvoje žengiami tik pirmieji žingsniai. Detaliau chemizmas ištirtas tik 10—15 ežerų. Epizodiškai chemizmas tyrinėta dar 40—50 gana gilių ežerų (Bunikis ir Klimkaitė, 1960).

Deguoניs. Metų būvyje Lietuvos ežeruose pastebimi du deguonies kiekio maksimumai: pirmasis — balandžio pabaigoje bei gegužės mėnesio pradžioje, antrasis — lapkričio mėn. antrojoje pusėje ir gruodžio mėn. pradžioje. Jie laiko atžvilgiu sutampa su pavasarine ir rudenine vandens cirkuliacija.

Maksimalus kiekis O_2 (12,0—16,5 mg/l) konstatuota paviršiniame vandens sluoksnyje prieš pat užšalant arba tuoj užšalus.

Ežerui užšalus, deguonies koncentracija visuose vandens sluoksniuose silpnėja.

Nors į žiemos pabaigą prie pat ledo deguonies koncentracija paprastai būna gana didelė (6,5—11,4 mg/l, arba 50—85% normalaus prisisotinimo), bet prie dugno kai kuriose vietose deguonies visai neliaka arba lieka jo visai mažai, būtent 0,15—0,20 mg/l, o tai atitinka 1—2% normalaus prisisotinimo.

Pavasarij drauge su homotermija įsigali ir homooksigenija, bet paprastai toks periodas trunka neilgai.

Vasarą giliuose ežeruose, kai susidaro temperatūrinis šuolis (5—8 m gylyje), O_2 kiekis vandenyje sparčiai pradeda kristi (po 0,3—0,6 mg/l kas metras). Susidaro ir deguoninio šuolio zona. Ir toliau O_2 koncentracija silpnėja, didėjant gyliui. 25—50 m gylyje pasiekiami 1—8% normalaus prisisotinimo. Kai kada deguoninis šuolis reiškiasi silpnai, o hipolimnione, krįstant temperatūrai, deguonies kiekis iki tam tikro gylio didėja, o paskui ima mažėti ligi dugno.

Tik 10—12 m gilumo Lietuvos ežeruose temperatūrinis ir deguoninis šuolis nesusidaro.

Vasarą paviršiniuose vandens sluoksniuose konstatuojama 9,4—13,9 mg/l deguonies.

Lapkričio mėn. Lietuvos ežeruose įsigali homotermija ir homooksigenija.

Anglies dioksidas ir pH. CO_2 koncentracija metų būvyje įvairiose ežerų dalyse svyruoja nuo 0,0 iki 45,0 mg/l, o vietose,

kur pasireiškia gruntinių vandenų įtaka, pasiekiamo net 60,0 mg/l riba.

Vertikalinis CO₂ pasiskirstymas yra atvirkštinio pobūdžio, lyginant su atitinkamu deguonies pasiskirstymu.

Metiniam CO₂ režimui būdingi du maksimumai — žiemos ir vasaros pabaigoje. Jie sutampa su dviem deguonies minimumais. Pavasarinės ir vandeninės vandenų cirkuliacijos metu anglies dvideginio koncentracija labai susilpnėja.

Vegetacijos metu paviršiniai vandens sluoksniai (iki 3—6 m gylio atviruose ežero plotuose, o iki 5—10 m įlankose ir prie krantų) dėl fotosintezės visai anglies dvideginio netenka.

Aktyvioji vandens reakcija dažniausiai būna silpnai šarmi (pH 7,10—8,50), tačiau žiemą ji būna ir silpnai rūgšti (pH 5,80—6,65).

Biogeniniai elementai. Biogeninių elementų Lietuvos ežerų vandenyje konstatuoti tokie kiekiai: mineralinio ištirpusio fosforo — 0,002—0,075 mg/l; Si — 0,5—3,7 mg/l; NO₃⁻ — 0,0—0,18 mg/l vegetacijos metu ir iki 2,0 mg/l ir daugiau po ledu; geležies — 0,02—0,74 mg/l (žiemą vietose, deguonies visai netekusiose, geležies kiekis vandenyje siekia 6,8 mg/l); NH₄⁺ — pėdsakai — 0,068 mg/l (žiemą vietomis daugiau kaip 1,0 mg/l).

Giliuose ežeruose, lyginant su negiliais, biogeninių elementų būna mažiau.

Vegetacijos metu labai dažnai pasireiškia visiška ar beveik visiška nitratų stoka. Galima manyti, kad tai varžo fitoplanktono vystymąsi.

EŽERO BIOLOGIJA

Mes visuomet jautėmės geografais ir laikėmės bendrojo, t. y. geografijos, požiūrio, palikdami specialias problemas spręsti geomorfologams, hidrologams, biologams ir kitiems specialistams. Tokio pat požiūrio laikysimės ir ežero biologijos srityje. Mūsų uždavinys bus bendro, o ne specialaus pobūdžio. Kas panorės įsigyti specialesnių ežero biologiją liečiančių žinių, ras jų gana gausioje literatūroje. Pats pirmasis, t. y. Forelio, limnologijos kursas orientuotas biologijos linkui. Taip pat ir paskiausieji kursai — Rutnerio, Velčo. Hatčinsonas limnobiologinių žinių žada duoti antrajame savo veikalo tome. Labai turiningai ir nuosekliai limnobiologiją yra išdėstę Lipinas, o ypačiai Lepniova. Mes taip pat naudosimės K. A. Voskresenskio straipsniais, pridėtais prie Bogoslovskio ir Muraveiskio „Ežerotyros apybraižų“. Kalbėdami apie Lietuvos ežerus, daugiausia pasinaudosime I. Gasiūno ir A. Mačionio darbais.

I. HIDROBIOLOGIJA IR BIOHIDROLOGIJA

Apžvelgdami limnologijos istoriją, matėme, kad pirmiau limnologijoje vyravo biologinė-hidrologinė kryptis, t. y. biologiniai reiškiniai buvo laikomi ežerotyroje pirmesniais, svarbesniais už hidrologinius reiškinius. Hidrologiniai reiškiniai buvo antraeiliai, tik tiek svarbūs, kiek jie sąlygoja biologinius reiškinius. Šita kryptis ir dabar galioja, bet tik limnologams biologams, arba tiksliau — hidrobiologams. Limnologams geografams ji šiandien negalioja, o galioja jiems hidrologinė-biologinė kryptis, kur visų pirma kreipiamas dėmesys į hidrologinius reiškinius,

bet nepamirštami ir biologiniai reiškiniai. Muraveiskis pasiūlė net terminą *biohidrologija*, kuris atvirkščias *hidrobiologijos* terminui. Hidrobiologija priklauso biologijai, o biohidrologija — hidrologijai. Hidrobiologija — biologų disciplina, o biohidrologija — hidrologų, geografo.

Tarp biohidrologijos ir hidrobiologijos esama atvirkštumo, bet nesama priešingumo, juo labiau prieštaravimo. Biohidrologai ištiria tas sąlygas, kuriose *hidrobiontai* (vandeniniai organizmai) gyvena, o iš dalies bendrai ir pačius hidrobiontus. Gi hidrobiologai hidrobiontus ištiria ne tik bendrais bruožais, bet ir specialiai, o to nei hidrologas, nei geografas jokių būdu negalėtų atlikti. Tai viena. Antra, daug ko hidrologiška negalėtų atlikti biologas. Taigi hidrobiologija ir biohidrologija viena kitą papildo, viena kitą remia, jos yra esmingai susiję, nes jų objektas bendras, tik tyrinėjamas iš atvirkščių pusių. Abi,— ir hidrobiologija, ir biohidrologija,— reikalingos liaudies ūkiui, liaudies gerovei: svarbios kovai su parazitiniiais susirgimais tiek žmonių, tiek gyvulių, svarbios miestams ir pramonei, nes jiems neretai tenka apsirūpinti vandeniu iš ežero, svarbios technikai, sprendžiant, pvz., betono korozijos problemą ir daugelį kitų hidrotechninių problemų.

II. HIDROBIONTAI IR JŲ VEIKLA

Biologiniai procesai ežere ir jų reikšmė. Visi vandens telkiniai žemės paviršiuje gyvenami. Visuose vandenyse esama daugybės ir įvairių organizmų. Vandenyse organizmų nebuvimas — labai retas ir dažniausiai trumpalaikis reiškinys gamtoje. Sporos ir cistos — tai formos, kuriose kai kurie organizmai pergyvena nepatogias sąlygas. Gyvybė pilnai apmiršta tik karštosiose versmėse, kuriose vandens temperatūra didesnė negu 93°C; jos nėra lede iš vandenų, kur ištirpusių druskų koncentracija didesnė negu 300 g/l, ir kai kuriuose vulkaniniuose ežeruose, kur daug laisvos sieros rūgšties, o pH, t. y. vandenilio jonų koncentracija, pasiekia 1,4. Pramonės atmatos, nuleistos į vandens telkinį, taip pat gali sunaikinti daug gyvų organizmų, bet šiaip įvairios gyvybės formos prisitaiko prie įvairių sąlygų, lengvai pasklyja ir smarkiai dauginasi. Dėl to vandeninių organizmų, arba hidrobiontų, rasime kiekviename ežere. Tat paties ežero gyvenimui nepaprastai reikšminga.

Biologinių procesų pagrinde glūdi medžiagų apykaita, kuri gyvojoje gamtoje daug intensyvesnė negu negyvojoje. Imdami iš vandens, gruntų ir kitų organizmų būtinas gyvybei palaikyti medžiagas, versdami vienas medžiagos ir energijos formas kitomis, ekskretuodami apykaitos produktus, sukurdami ištisas mases į save panašių, hidrobiontai savo audringa veikla pakeičia savo aplinką, o drauge ir visą ežerą. Pavyzdžiui, nuo biotinio faktoriaus priklauso druskų kiekis vandenyje ir dujų jame tirpimas, sulaikoma šviesa, kai mažų gyvų padarų daug pri-vysta,— kai vanduo ima „žydėti“, augalai apsaugoja krantus nuo ardymo, griovimo; biogeninio dumblo, pripildomi dubenys; iš augalų susidaro ir plovai*, kurie padeda pelkei nugalėti ežerą. Be biotinio faktoriaus veiklos įvertinimo ežero gyvenimo aprašymas liekasi blyškus, lėkštas, mažai turiningas. Ežeras be gyvybės formų — tai kaip miestas be gyventojų. Jei tik žuvų kuriame ežere mažai, tai jau tą ežerą lygina su dykuma ir net vadina dykuma. Biotinis faktorius ne tik reikšmingas šiandien. Ne, jis buvo reikšmingas praeityje ir bus reikšmingas ateityje. Biotinis faktorius ežerą formavo, formuoja ir formuos.

Hidrobiontų klasifikacija mitybos atžvilgiu; mitybinės grandinės ir produkcija. Vandenyje gyvenantieji organizmai labai įvairūs, įvairi jų medžiagų apykaita, taip pat įvairus jų poveikis į aplinką, į ežerą. Pagal medžiagų ir energijos transformavimo pobūdį galima juos suskirstyti į tris grupes: į producentus, reducentus ir konsumentus. *P r o d u c e n t a i* produkuoja, t. y. sintezuoja savo kūnuose organines medžiagas iš neorganinių. Tai mikrobai ir augalai, kurie fotosintezės dėka kuria organinių junginių pagrindinę masę. Šalia šių fototrofinių organizmų, sudarančių organines medžiagas saulės energijos sąskaita, labai reikšmingi ir įvairūs chemotrofiniai hidrobiontai. Jie organines medžiagas sudaro, išnaudodami cheminių reakcijų energiją, pvz., sieros vandeniliui virstant sieros rūgštimi, metanui — vandeniu ir angliarūgšte ir t. t. Priešingą producentams grupę sudaro *r e d u c e n t a i*. Į šią grupę įeina mikroorganizmai (bakterijos), gaunantieji energiją, reikalingą medžiagų apy-

* Daug kur Lietuvoje sakoma **plova** (linksniuojama ir kirčiuojama kaip diena), bet Žuvinto ir Amalvo ežerų apylinkėse sakoma **plovas** (linksniuojama ir kirčiuojama kaip sniegas). Plovas atvaizduotas 96 pav. Kai kada jie turi po ežero paviršių plaukiojančių salelių pavidalą.

kaitai jų kūne, skaidydami sudėtingus organinius junginius į paprastas mineralines druskas, skaidydami produktus, ne visiškai suirusius gyvulių ir augalų organizmuose. Kaip tik tokios druskos reikalingos producentams ir jų neretai pasigendama. Reducentai šitą trūkumą paprastai užpildo. Konsumentai užima tarpinę padėtį tarp producentų ir reducentų. Ši grupė apima organizmus, kurių medžiagų apykaita vyksta tik organinių medžiagų sąskaita, bet jie tų organinių medžiagų pilnai nesuskaido, t. y. nesuskaido ligi mineralinių druskų, kuriomis galėtų misti augalai. Konsumentai minta ir producentais (augalėdžiai gyvūnai), ir reducentais (bakterijomis mintantieji organizmai), ir konsumentais (plėšrieji gyvūnai).

Producentus, besimaitinančius tik pradinėmis neorganinėmis medžiagomis, dažnai vadina *autotrofa*is, skirdami nuo *heterotrofo*ų, kurių mitybai yra būtinos organinės medžiagos. Daugumo cheminių elementų, kurie turi įeiti į autotrofinių organizmų (producentų) maisto sudėtį (C, O, H, N, P, S, K, Ca, Mg, Fe, Si ir kt.), visada yra pakankamas kiekis ežero vandenyje. Iš ištirpusių vandenyje mineralinių druskų didžiausią reikšmę autotrofiniams organizmams turi kalcio, fosforo, kalio ir azoto junginiai. Šias medžiagas vadina biogeninėmis, o atitinkamus elementus — biogeniniais. Biogeninės medžiagos drauge su ištirpusia vandenyje anglirūgšte sudaro pradinį maistą, iš kurio autotrofiniai augalai gamina organines medžiagas. Vandens augalų (fitoplanktono, makrofitų) pagamintos organinės medžiagos sudaro vandens baseino pirminę produkciją. Taigi pirminės produkcijos dydis tiesiogiai priklauso nuo biogeninių medžiagų kiekio vandenyje.

Pirminė produkcija ežero organizmų mitybinėje grandinėje yra tik pirmoji grandis. Nuo jos tiesiogiai priklauso sekanti grandis — pirmasis konsumentas (įvairūs augalėdžiai gyvūnai). Po pirmojo konsumento gali eiti antrasis konsumentas (pirmos eilės plėšrusis gyvūnas), kuris minta pirmuoju, o po antrojo gali eiti trečiasis, kuris minta antruoju, ir t. t. Pvz., atvirame ežero vandenyje augaliniu planktonu (I grandis) minta smulkūs planktoniniai vėžiagyviai (II grandis), kuriais savo ruožtu minta kai kurios žuvys — aukšlė, seliava, stinta (III grandis), o tomis — plėšriosios žuvys — lydeka, starkis (IV grandis). Šioje mitybinėje grandinėje žuvys, kaip žmogaus tiesioginės eksploatacijos objektas, sudaro ežero galu-

tinę produkciją, o visos kitos grandys, kurios yra įsiterpusios tarp pirminės ir galutinės produkcijos, sudaro tarpinę produkciją. Tarpinei produkcijai priklausantieji įvairūs smulkūs gyvūnai, visaip transformuodami autotrofinių organizmų pagamintas organines medžiagas, galutinai pakeičia jas į vertingiausią bioproduktą — žuvį, tiksliau — žuvieną, bet šis žodis kalboje nevartojamas.

Mitybinės grandinės gali būti įvairaus ilgumo,— net iki šešių grandžių. Kiekvienos tolesnės grandies biomasė yra dešimteriopai mažesnė už prieš jąėjusios grandies biomasę. Pvz., jeigu žuvis mistų tik augalais, tai iš kiekvieno 100 tonų augalinės masės galima būtų tikėtis gauti iki 10 tonų žuvies. O jeigu tarp žuvų ir producento įsiterpia dar viena grandis (augalėdis bestuburis, kuriuo minta žuvis), tai iš to paties augalinės masės kiekio galima bus gauti tik 1 toną žuvies. Juo ilgesnė mitybinė grandinė, tuo galutinio produkto gaunama mažiau.

Nesunku pastebėti, kad vandens ūkis gana panašus į žemės ūkį. Abiem atvejais produkcijos pagrindą sudaro biogeninių medžiagų kiekis vandenyje ir dirvoje. Tačiau yra ir skirtumų. Žemės ūkyje galutinę produkciją sudaro jau pirmoji grandis — augalai ir tik mažesniu mastu — žolėdžiai gyvuliai (II grandis), o vandens ūkyje galutinę produkciją sudaro beveik vienos žuvis, kurių tik maža dalis maitinasi augaline medžiaga, o šiaip daugiausia jos minta įvairiais bestuburiais gyvūnais arba yra plėšrios. Mitybinės grandinės vandenyje yra sudėtos iš daugiau grandžių negu žemės ūkyje, todėl ir galutinės produkcijos kiekis iš to paties ploto ežere gaunamas žymiai mažesnis.

Konsumentai su reducentais vadinami heterotrofais todėl, kad greta nesudėtingų medžiagų (vanduo, deguonis, druskos) suvartoja maistui ir sudėtingus organinius junginius. Jeigu nebūtų heterotrofų, tai autotrofai patys vieni ilgai neišgyventų, nes pritrūktų jiems mineralinio maisto, kuris pasiliktų amžinai surištas jų mirusiuose organizmuose. Heterotrofai prie to neprileidžia. Jie, visaip transformuodami ir skaidydami organines liekanas, galų gale prisideda prie tų liekanų mineralizacijos ir tuo būdu padaro jas prieinamas autotrofams. Taigi ir autotrofai, ir heterotrofai būtina reikalingi biogeninių medžiagų cirkuliacijai.

Ežerų biologinė klasifikacija. Iš to, kas sakyta, darosi aišku, kad ežero biologinis produktyvumas, t. y. jo sugebėjimas kurti organines medžiagas ir jas transformuoti į aukštos kokybės bioproduktus (žuvį, arba žuvieną), galų gale priklauso nuo biogeninių medžiagų (visų pirma fosforo ir azoto) gausumo vandenyje. Pagal šį požymį ežerai klasifikuojami į keletą biologinių tipų.

Oligotrofiniai, arba mažamaisčiai, ežerai. Jie yra gilūs, vanduo grynas ir šaltas, neturtingas biogeninių medžiagų. Todėl juose ir makrofitų, ir fitoplanktono nedaug. Nedaug dugne susikrauna ir dumblo. Zooplanktonas ir zoobentosas negausus. Tokie ežerai per ištisus metus turtingi deguonies, todėl reikalaujančios daug deguonies ir mėgstančios šaltą vandenį lašinės žuvys bei vėgėlė turi čia palankias gyvenimo sąlygas.

Lietuvoje oligotrofinių ežerų dabar nėra. Jie paplitę Skandinavijoje, Suomijoje, Karelijos ATSR, Š. Amerikoje; jų yra aukštai kalnuose (Alpių, Kaukazo). Lietuvos ežerai, be abejo, priklausė šiam tipui savo vystymosi jaunatvės periode, t. y. tuojuo po ledynmečio.

Mezotrofiniai, arba vidutinmaisčiai, ežerai. Prie jų priklauso dabartiniai Lietuvos giliausieji ežerai. Jų apylinkių landšaftas yra moreninis, kalvotas. Vandeninių makrofitų juosta pakraščiais siaura, tačiau vandeniniai augalai, lygiai kaip ir bestuburių fauna, čia gausesni negu oligotrofiniuose ežeruose. Tik mezotrofinio tipo ežeruose dabar Lietuvoje aptinkama seliava ir juose galėtų sėkmingai gyventi ir veistis sykas.

Tipingi šio ežero tipo atstovai Lietuvoje yra Dusios, Galvės ir Skaisčio, Platelių ir daugelis kitų ežerų.

Eutrofiniai, arba daugiamaisčiai, ežerai. Jie sudaro didelį kontrastą oligotrofiniams ežerams. Tai negilūs ežerai, lengvai įšylantieji ligi pat dugno. Dėl biogeninių medžiagų gausumo jų flora turtinga. Makrofitais dažnai užželia visas ežero dugnas. Gausus fitoplanktonas dažnai sukelia vandens „žydėjimą“. Dėl šių priežasčių dugne susikrauna daug lengvai pūvančio dumblo, kuriuo minta turtingas biomasės atžvilgiu zoobentosas, ypačiai svarbūs dugninėms žuvims chironomidų vikšrai. Zooplanktono kiekiai metų būvyje nepastovūs; vasarą būna gausūs šakotaūsių vėžiagyviai.

Šiuose ežeruose sprendžiamą reikšmę žuvims turi deguonies kiekis vandenyje. Mažas gilumas ir intensyvūs puvimo pro-

cesai dažnai veda prie griežto deguonies deficito vandens stagnacijos laikotarpiais — vasarą ir ypačiai po ledu — žiemą, ir dėl to kartais žuvys dūsta, trokšta*. Žuvų rūšinė sudėtis šiuose ežeruose mažiau įvairi negu mezotrofiniuose ežeruose, bet žuvis produkcija gaunama žymiai didesnė.

Lietuvoje eutrofinių ežerų yra daug. Tipingi jų atstovai yra Metelio ir Obelijos ežerai, Simno, Žuvinto, Amalvo ir daugelis kitų ežerų.

Distrofiniai, arba bemaščiai, ežerai. Tai nedideli, tarp durpynų išsidėstę ežeriukai. Biogeninių medžiagų juose labai mažai, ypačiai didelis trūkumas kalcio druskų; juose vyksta augalinių liekanų irimas, susijęs su durpėjimu, į vandenį patenka daug organinių rūgščių. Rūgščioje aplinkoje ne tik visokių bestuburių, bet ir žuvų, gyvenimas labai sunkus, ir jų fauna čia labai neturtinga. Distrofiniai ežerai mažai produktyvūs. Distrofiniuose ežeruose gyvena tik atspariausios žuvys, kaip antai: kuoja, ešeris, lydeka, karosas. Kraštutiniu atveju iš žuvų išlieka tik ši paskutinioji rūšis.

III. HIDROBIONTŲ PASISKIRSTYMAS EŽERE

Kiekvieno organizmo egzistencijai reikalingos tam tikros išorinės sąlygos. Įvairių organizmų poreikiai šiuo atžvilgiu gali būti labai skirtingi. Savo ruožtu pats ežeras įvairiose vietose irgi yra nevienodas: nevienodas būna gruntas, skirtingos apšvietimo sąlygos, vandens bangavimas gali būti labai didelis, o užtvėjoje jis nevaizduoja jokio vaidmens, ir t. t. Tokios specifinėmis sąlygomis pasižymintys vietos vadinamos biotopais. Kiekvienam biotopui yra būdinga atitinkama biocenozę, t. y. augalų ir gyvūnų rūšių kompleksas, — augalų ir gyvūnų, kurie tame biotope turi optimalines gyvenimo sąlygas ir vieni nuo kitų priklauso.

Biotopai. (žr. 13 pav.). Plačiai suprantant biotopo sąvoką, ežerą galima suskaidyti į tris pagrindinius biotopus. Pirmasis biotopas — tai ežero dugnas. Šis biotopas vadinamas bent a-

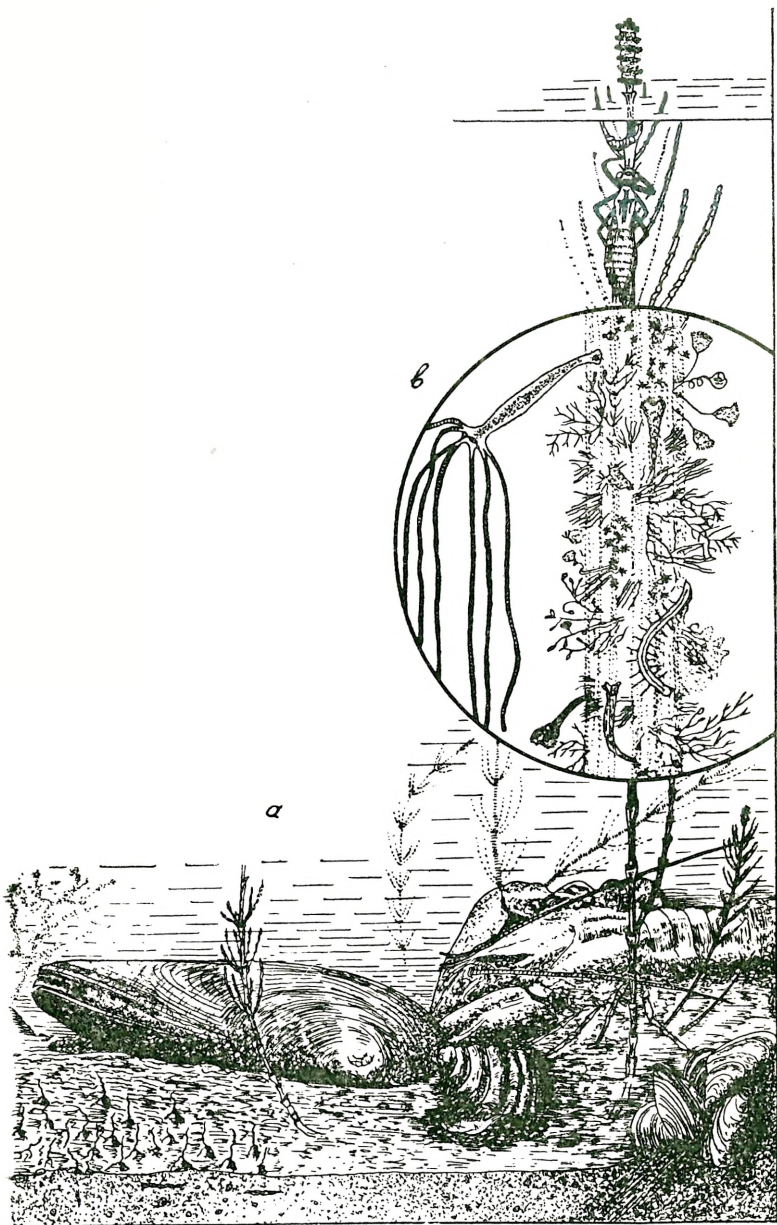
* Antrasis terminas gali atrodyti netikslus, nes apie žmogų kalbant sakoma dūsta, kai jam trūksta oro (tiksliau — deguonies), trokšta — kai jam trūksta vandens. Bet ir žuvis pritrūksta tinkamo gyventi vandens. Todėl ir joms galima taikyti terminą trokšta.

liu. Antrasis biotopas — tai centrinė ežero vandens masė. Šis biotopas vadinamas pelagialiu. Pagaliau trečiasis biotopas — tai plonytis vandens sluoksnis, esąs prie pat ežero paviršiaus ir susisiekiąs su atmosfera. Bentalis dėl jo didumo ir įvairumo skaidomas į mažesnius biotopus. Svarbiausi bentalio biotopai yra ežero pakraštinės zonos dugnas — litoralis ir giluminė ežero dugno sritis — profundalis. Pagrindinis tarp šių ežero dugno dalių skirtumas yra tas, kad litoralį pasiekia saulės šviesa, todėl čia gausiai vystosi žalieji augalai — organinių medžiagų producentai, o profundalyje dėl nuolatinės tamsos fotosintezė negalima, todėl ir žaliųjų augalų beveik nėra. Profundalyje vyrauja konsumentai ir reducentai. Tarpinę padėtį tarp litoralio ir profundalio užima sublitoralis. Iš šių bentalio biotopų didžiausiu sąlygų įvairumu pasižymi litoralis, kurį savo ruožtu galima skirstyti į ištisą eilę mažųjų biotopų — su akmenuotu, smėlietu ir dumbliniu gruntu, su makrofitų telkiniais ir t. t.

Biocenožės. Organizmų rūšis, prisitaikiusias gyventi bentalyje ir negalinčias pakilti į centrinę ežero vandens masę, vadina bentosu. Bentoso augalus vadina fitobentosu (įvairūs makrofitai, prie dugno prisitvirtinę dumbliai), o bentoso gyvūnus — zoobentosu, kurį sudaro kirmėlės, dugno vėžiagyviai, moliuskai, vabzdžių lervos. Bentoso organizmai gali gyventi pačiame dugno paviršiuje, bet kai kurie gali įsirausti į gruntą. Akmenys, stambūs augalai, poliai, betonai ir kt. vandenyje apauga įvairiais smulkiais bentosiniais organizmais. Šią bentoso rūšį vadina perifitonu (86 pav.).

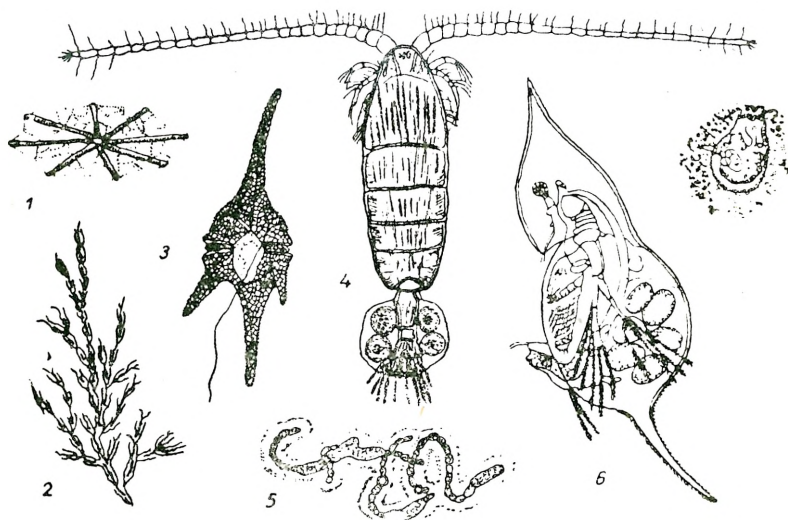
Bentoso organizmuose medžiagų apykaitai palaikyti labai svarbu, kad juos plautų vis kitas vanduo. Šį poreikį patenkina priedugninės srovės, pačių organizmų specialūs organai, sukelią sroves, arba tų organizmų judesiai.

Ežero pelagialis yra apgyventas sugebėjimo judėti požiūriu dvejopų organizmų. Ežero vandens masėje yra gausu organizmų, kurie joje sklendo arba tik nežymiai juda. Tokie organizmai sudaro ežero planktoną. Planktone labai svarbų vaidmenį vaidina organinių medžiagų producentai — įvairūs mikroskopiniai dumbliai; labai daug čia yra ir bakterijų. Tai ežero fitoplanktonas. Pagrindinę zooplanktono masę sudaro smulkutės rotatorijos, irklakojai ir šakotaūsių vė-



86 pav. Bentoso (a) ir perifitono (b) organizmai

žiagyviai — ciklopai ir dafnijos (87 pav.). Kita pelagialio gyventojų dalis — nektonas sudaryta iš aktyvių plaukiojusių, lengvai nugalinčių didelius atstumus. Nektonui ežeruose atstovauja beveik tik vienos žuvis. Tarp planktono ir nektono nėra griežtos ribos, lygiai kaip ir tarp planktono ir bentoso. Kai



87 pav. Planktono organizmai:

1 — diatomėja *Asterionella*; 2 — žiuželių *Dinobryon* kolonija; 3 — peridinėja *Ceratum*; 4 — irklakojis vėžiagyvis *Diaptomus*; 5 — melsvadumblis *Anabaena*; 6 — šakotaūsis vėžiagyvis *Daphnia*; 7 — rotatorija *Gastropus*

kurie smulkūs planktono organizmai būna neblogi plaukikai ir gali judėti ne vien vertikaliai, bet ir nugaleti nemažus horizontalius nuotolius, pvz., iš atviro biotopo į prižėlusį. O taip pat kai kurie bentoso organizmai sugeba nuo dugno pakilti ir vandens masėje guviai ir ištvermingai plaukioti. Tokie gyvūnai sudaro vadinamąjį nekto bentosą.

Be gyvųjų organizmų, vandens masėje visuomet pasitaiko sklindančių ir negyvų dalelių, kurias vadina triptonu. Planktoną, praktiškai imant, būna sunku izoliuoti nuo triptono, todėl visa, kas patenka į planktoninį tinklėlį (planktonas ir triptonas kartu), dažnai vadinama sestonu. Triptonas yra sudėtas iš mirusių organizmų liekanų — detrito, o taip pat iš mineralinių dalelių. Visas triptonas, organinis ir neorganinis, palaipsniui grimzta gilyn, jis mikroorganizmų, grybelių

ir bentoso gyvūnų perdirbamas ir, patyręs sudėtingą metamorfozę, virsta ežero dumbļu.

Pagaliau yra dar viena organizmų grupė — *neustonas*, savo egzistavimu glaudžiai susieta su vandens paviršine plėvele, kur veikia specifinės paviršinio įtempimo jėgos. Neustonui daugiausia priklauso mikroorganizmai, kurių masės būdingai nudažo įvairiais atspalviais vandens paviršių, priklauso mai nuo mikroorganizmų rūšies. Neustonui priklauso taip pat organizmai, susisiekia ir su atmosfera, ir su vandens mase, t. y. prasikišę pro vandens plėvelę į abi puses. Iš zooneustono paminėtini kai kurie pirmuonys ir šakotaūšiai vėžiagyviai, o iš vabzdžių — kraujasiurbių uodų lervos. Neustonas dažnai atraukia visą paviršių ir turi žymią įtaką dujiniam ežero režimui, bet bangos ir srovės neretai sutrikdo ir net visai likviduoja specifines sąlygas, reikalingas neustono organizmų vystymuisi.

IV. EŽERO ZONOS IR SRITYS KAIP BIOTOPAI

Į ežero zonas ir sritis galima žiūrėti kaip į biotopus ir litoralinę zoną, laikantis biologinio požiūrio, vadinti litoralium, sublitoralinę — sublitoralium, profundalinę sritį profundaliu, pagaliau pelaginę — pelagaliu.

Litoralinė zona. Ežero bangos ne tik skalauja krantą, bet taip pat veikia ir pakraštines dugno dalis. Ta pakraštinė ežero dugno zona, kurią pasiekia bangų veikimas, kaip tik sudaro, grynai geografiškai imant, litoralinės zonos pagrindą. Visa litoralinė zona — tai bangų veikiamą pakraštinę dugno dalis drauge su virš jo esančiais vandenimis. Litoralinės zonos gylis — ligi keleto metrų.

Geografiškai suprantama litoralinė zona maždaug sutampa su biologiškai suprantama litoraline zona, — su litoralium. Biologiškai litoraline zona laikoma visa pakraštinė ežero juosta, koki gali augti vandeniniai krūminiai augalai (žr. 13 pav.). Šios juostos plotis paprastai siekia ligi 10—30 m. Vandens skaidrumas juostos plotį veikia teigiamai.

Litoralinė zona yra gana sudėtinga ir būna nevienodai išsivysčiusi. Geras litoralinės zonos išsivystymas — ežero subrendimo, o net ir senatvės pažymys.

Pačias kraštines litoralinės zonos vietas bangos siekia tik kai kada, ypačiai audros metu, o šiaip ramiu, nevėjuotu metu

tos dalys būna sausos. Kai jos bangų pasiekiamos, jos būna ardomos. Atplėstos dalys patenka į ežerą ir iš jų pamažu supilama, augalams augti svarbi, sampyla, kurios viršus — atabražas, šonas — panuovalis (žr. 15 pav.). Bangų poveikis ypačiai žymus, kai ežero krantai statūs.

Kiek žemiau yra ta litoralinės zonos dalis, kuri būna užtvindyta ilgesnį laiką, bet ne visada. Būna užtvindyta tik tada, kai pakyla ežero vandens horizontas,— pavasarį, lietingą vasarą. Ji vadinama paplūdimiu.

Dar žemiau yra litoralinės zonos dalis, kuri visada būna po vandeniu.

Litoralinę zoną pajvairina upių žiotys ir lagūnos.

Ežero litoralinė zona yra susijusi su ežero aplinka ne mažiau, kaip su pačiu ežeru; ji yra susijusi su sausumos dalimi, kuri sudaro ežero krantus. Iš tos sausumos dalies pakliūva į litoralinę zoną įvairios mineralinės medžiagos, kurias, ištirpusias, vėliau sunaudoja vandeniniai augalai. Nuo litoralinės zonos prasideda ir ežerų užžėlimas.

Litoralinė zona biologiniu požiūriu yra produktyviausioji ežero dalis, nes čia palankiausios sąlygos vandeniniams augalams ir bestuburiams gyvūnams vystytis. Tokį jos vaidmenį labai padidina lagūnos ir užutėkiai. Dėl sekumo saulės šviesa gerai apšviečia dugną, todėl čia gausiai auga svarbūs organinių medžiagų producentai — įvairūs makrofیتai ir siūliniai dumbliai. Dėl šios priežasties litoralinėje zonoje yra pakankamai deguonies. Vanduo čia greičiau nuo saulės įšyla. Be to, čia yra puiki pašarinė bazė turtingai bestuburių gyvūnų faunai, kurie čia ne tik augaline medžiaga minta, bet randa daug patogių slėptuvių ir geras sąlygas veistis. Labai svarbi litoralinė zona ir žuvims. Visos be išimties ežerinės žuvys neršia ežero litoralinėje zonoje arba jos intakuose ir čia auga jų jaunikliai, o dauguma žuvų rūšių išlieka su litoraline zona glaudžiai susiję per visą savo gyvenimą.

Sublitoralinė zona. Ši zona yra pereinamoji sritis tarp litoralinės zonos ir ežero gelmių — profundalinės, o taip pat ir pelaginės sričių, tai ir jos režimas yra tarpinis. Sublitoralinė zona deguonimi aprūpinama silpniau negu litoralinė, nes ji gilesnė, bet vis dėlto daug geriau negu profundalinė sritis.

Sublitoralinėje zonoje paprastai būna vandens temperatūrinio šuolio sluoksnis.

Dėl per mažo šviesos kiekio sublitoralyje vyrauja bakterijų ir grybelių flora ir pasitaiko tik prieblandą mėgstančios negausios žaliųjų dumblių rūšys (*Chara*, *Cladophora*, *Nostoc*), kurios nusileidžia iš pakraščio tankynių į viršutinį sublitoralį.

Sublitoralinės zonos fauną sudaro daugiausia iš litoralinės zonos emigrantai. Planktono sublitoralinėje zonoje gausu, bet ne taip, kaip litoralinėje. Fauna mažiau įvairi negu litoralinėje zonoje, bet vis dėlto pakankamai turtinga.

Sublitoralinės zonos dugno būdingas bruožas — daugybė tuščių kiaukutų. Atrodytų, kad šioje zonoje turėtų veisti labai daug moliuskų. Iš tikrųjų taip nėra. Tuos kiaukutus, kriaukles iš lėto suneša vandens srovės.

Profundalinė sritis. Šią sritį sudaro ežero dugnas ir vandens masės, esančios prie dugno žemiau sublitoralinės zonos. Aišku, kad čia dujų apykaita yra daug silpnesnė negu pakraštiniėje zonoje ir atvirame vandenyje, taigi ir deguonimi aprūpinimas yra daug prastesnis. Mažiausiai deguonies būna stagnacijos metu — žiemą ir vasarą, kai ežere nusistoja vandens temperatūriniai sluoksniai. Tokiu metu ypač ryškus deguonies deficitas būna eutrofinių ežerų profundalyje.

Šviesa profundalinės srities vandens masių beveik visai ir net visai nepasiekia. Temperatūra ten maždaug vienoda ir palyginti žema.

Profundalinės srities dugną dengia storas sluoksnis dumblo, kuriame gausu organinių liekanų — detrito.

Gyvenimo sąlygos profundalyje labai vienodos visais metų sezonais: vienoda temperatūra, visados ramu, nes nėra bangavimo, visais sezonais nėra augalų. Užtat profundalyje labai gausu puvimo bakterijų ir grybelių. Įdomu, kad moliuskų kiaukutai lygūs, be koncentrinčių juostų ar rėvių, nes maisto kiekis visada būna toks pat. Kituose biotopuose jo būna tai daugiau, tai mažiau, ir moliuskų maitinimasis būna intensyvesnis ar ne toks intensyvus.

Profundalinė fauna rūšių atžvilgiu yra neturtinga, bet tos rūšys, kurios čia prisitaikė gyventi, individų skaičiumi gali būti labai gausios. Daugumas jų yra detritofagai, t. y. minta paviršiniu dumblo sluoksneliu, kuriame būna daug dar nepilnai suirusių organinių liekanų ir gausybė bakterijų. Profundalinė sritis yra svarbi kai kurių žuvų (syko, karšio, pūgžlio ir kt.)

ganykla. Nuo profundalio zoobentosos gausumo žymiu mastu priklauso ir ežero žuvingumas.

Pelaginė sritis. Šiai sričiai profundalinė sritis sudaro pagrindą, t. y. pelaginę sritį sudaro vandens masės, esančios virš profundalinės srities. Šios srities padėtis apsprendžia ir biologines sąlygas, palyginus su profundaline sritimi ir su sublitoraline bei litoraline zonomis.

Paviršiniai šios srities vandens sluoksniai aprūpinami deguonimi, šviesa, šiluma beveik taip pat, kaip ir litoralinė zona su sublitoraline zona ir nepalyginti geriau už profundalinę sritį.

Pelaginė sritis, kaip ir litoralinė zona, pagal organinių medžiagų produkciją užima labai svarbią vietą. Žymiausią vaidmenį čia vaidina fitoplanktonas. Zooplanktonas irgi įvairus. Pelagialyje pastoviai laikosi ir kai kurios žuvyys, kurios minta zooplanktonu (seliava, stinta, aukšlė).

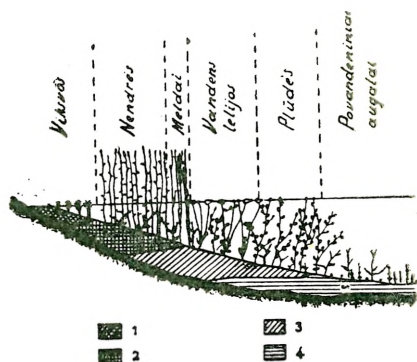
V. EŽERO SRIČIŲ IR ZONŲ BIOLOGIJA

Makroflora. Bentosas, jį sudarą gyvi padarai, vystosi dviejuose pagrindiniuose biotopuose: litoralyje ir profundalyje, o daugelyje ežerų ir sublitoralyje.

Šviesos gausumas litoralinėje zonoje sudaro palankias sąlygas vandens žalesiems augalams vystytis. Litoralinė zona pasižymi makrofitais, kurių vieni viršutinėmis savo dalimis iškyla virš vandens, kitų tik lapai iškyla, o trečių nieks neiškyla. Šis augalų pasiskirstymas yra dėsningas ir priklauso visų pirma nuo gylio. Susidaro vaizdas, kuris matyti 88 pav.

Botanikai Lietuvos TSR ežeruose išskiria šias juostas (einant nuo kranto): 1) seklių vandenų augalų juostą, kur auga aukštos viksvos, ypačiai snapuotoji viksva; šalia viksvų auga ir kitos pelkių žolės, kaip antai, gyslotinis dumblialaiškis (*Alisma plantago*), papliauška (*Sagittaria sagittifolia*), pelkinis vėdrynas (*Ranunculus lingua*) ir kt.; 2) nendrių, meldų ir švendrų juostą; joje auga augalai, kurių apatinės dalys yra pasinėrusios vandenyje, būtent, nendrė (*Phragmites communis*), ežerinis meldas (*Scirpus lacustris*), plačialapis ir siauralapis švendras (*Typha latifolia* ir *T. angustifolia*), balinis asiūklis ir kt.; šių dviejų juostų augalai yra taip pat ir

pelkinių pievų bei pelkių augalai; 3) vandens lelijų juostą, kur auga paprastoji ir mažžiedė vandens lelija (*Nymphaea alba* ir *N. candida*), paprastoji lūgnė (*Nuphar luteum*), plūduriuojančioji plūdė (*Potamogeton natans*); šių augalų lapai plūduriuoja vandens paviršiuje, o žiedai būna iškilę virš vandens; 4) plačialapių plūdžių juostą, kur auga stambios plačialapės plūdės (*Potamogeton perfoliatus*, *P. lucens*) ir kt., varpinė plunksnalapė (*Myriophyllum spicatum*); šie augalai vandenyje būna pasinėrę, bet žiedai būna iškilę virš vandens; 5) visiškai pasinėrusių augalų juostą, kur įvairios maurabragio (*Chara*) rūšys, elodėja (*Elo-dea canadensis*), smulkialapių plūdžių rūšys (*Potamogeton mucronatus*) ir kt., pagaliau 6) mikrofītų juostą, kur auga melsvadumbliai ir žalieji bei titnaginiai dubliai.



88 pav. Ežero užžėlimas:

1 — viksvinė durpė; 2 — nendrinė ir meldinė durpė; 3 — sapropelinė; 4 — sapropelitai

Skaidresnio vandens ežeruose atitinkamų juostų augalija nusileidžia giliau. Pavyzdžiui, Žaliuosiuose ežeruose (netoli Vilniaus) makrofītų juosta siekia iki 15 m gylio, o Daugų ežere — tik iki 7 m.

Juostų plotis priklauso nuo dugno polinkio: juo polinkis didesnis, tuo juostos siauresnės. Kartais ne visos juostos būna vienodai ryškiai išreikštos, o kai kurių juostų visai nebūna. Pavyzdžiui, Daugų ežere neryškios yra plačialapių plūdžių ir vandens lelijų juostos. Pastebėtina, kad meldynai auga už nendrynų, t. y. gilesnėse vietose.

Makrofloros vaidmuo ežero gyvenime yra didelis ir įvairus. Vandens augalai fotosintezės keliu praturtina vandenį deguonimi ir suvartoja angliarūgštę. Tuo sudaromos sąlygos turtin-gai bestuburių gyvūnų faunai, kuri čia daug gausesnė negu pelagialyje ir profundalyje.

Aukštesnioji vandens augalija yra geras substratas daugelio žuvų ikrams. Ant apatinės plūduriuojančių lapų pusės deda kiaušinius kūdrinukės (*Limnaeidae*), apsiuvos, kai kurie

žirgeliai, o augalų stiebų ir lapų viduje vystosi kai kurių dvisparnių vabzdžių lervos.

Pačiais makrofitais, o taip pat besivystančiu ant jų perifitonu maitinasi moliuskai ir net kai kurios žuvys (raudės, kuojos).

Meldynai ir nendrynai apsaugoja krantą nuo bangų ardomojo darbo ir sudaro užuovėjos zonas, svarbias čia gyvenančioms žuvims, ypač jaunikliams.

Pagaliau negyvos makrofitų liekanos, pasilikusios litoralyje arba srovių nuneštos į profundalį, daugelio dugno gyvūnų suvartojamos maistui.

Dugno gyvūnija įvairi ir gausi ypač pasinėrusių ir plūduriuojančiais lapais augalų juostoje. Tos faunos turtingumas labai priklauso nuo ežero tipo. Rūšių skaičiaus atžvilgiu turtingiausia ji oligotrofiniuose ežeruose, o skurdžiausia distrofiniuose. Tačiau individų kiekio atžvilgiu pirmauja eutrofiniai ežerai. Jie yra labiausiai produktyvūs. Žuvų ūkio atžvilgiu toje faunoje svarbiausi gyvūnai yra moliuskai, vabzdžiai, vėžiagyviai ir kirmėlės.

Iš moliuskų tarpo svarbūs mintantieji perifitonu pilvakojai, visų pirma su silpnomis kriauklėmis gentys: *Limnaea* (kūdrinukės), *Physa*, *Ancylus*, *Planorbis*, *Valvata*, *Bithynia*. Vandens pilvakojai moliuskai žuvų gyvenime turi ir didelę neigiamą reikšmę: jie yra pagrindiniai daugelio plokščiųjų parazitinių kirmėlių jaunų stadijų nešiotojai ir platintojai. Svarbūs ir dvigeldžiai moliuskai. Jie yra biofiltratoriai, t. y. praleidžia pro savo kūną didelius kiekius vandens, nes minta tik planktoniniais organizmais. Žuvims mitybinę reikšmę turi genčių *Sphaerium* ir *Pisidium* smulkūs dvigeldžiai. Genčių *Anodonta* ir *Unio* stambūs moliuskai žuvims prieinami tik jaunų stadijų.

Atskira vieta Lietuvos moliuskų tarpe priklauso dreisenai (*Dreissena polymorpha*). Šis nedidelis dvigeldis gausiai apsėda dugno akmenis ir šiaip kietus daiktus, prie kurių nejudamai prisitvirtina. Dreisenos tėviškė yra Ponto-Kaspijos baseinas, iš kur ji kanalų sistemomis kartu su laivais prasiskverbė į tekančias Baltijos jūron upes ir į kai kuriuos ežerus. Pavyzdžiui, dreisena yra paplitusi kai kuriuose pietų Lietuvos ežeruose (Dusios, Metelio, Obelijos), randama taip pat Vievio ežere, bet ypačiai ji gausi Kuršių mariose. Šio moliusko lervos yra pela-

ginės, vandens srovių toli išnešiojamos. Tuo gali būti paaškin-
tas netikėtas dreisenos pasirodymas Kauno mariose, kuriose ji
rado labai palankias gyventi sąlygas ir pasidarė gana gausi.
Jaunas dreisenas labai mėgsta kai kurios karpinės žuvis.

Pirmaeilę reikšmę žuvų mityboje turi gausiai atstovaujami
litoralinėje zonoje v a b z d ž i a i — apsiuvų (*Trichoptera*), la-
šalų (*Ephemeroptera*), uodų chironomidų (*Chironomidae*)
lervos, o taip pat jų skraidančios stadijos, kurios laikosi arti
vandens. Aršūs grobuonys, kurie užpuola įvairius vandens gy-
vius ir išnaikina daug žuvų jauniklių, yra pajėgūs plaukioto-
jai iš nektobentoso, pvz., vandeninės blakės (*Notonecta*), va-
balai — dusios (*Dytiscus*, *Acilius*) ir jų lervos, o taip pat kai
kurių žirgelių (*Odonata*) lervos.

Ežero litoralinėje zonoje nemažą reikšmę žuvų mitybai turi
d u g n i n i a i v ė ž i a g y v i a i — šoniplaukos (*Gammaridae*)
ir mintantis pūvančiomis augalų liekanomis vandens asiliukas
(*Asellus*).

Iš k i r m ė l i ų svarbūs žuvims maisto atžvilgiu yra oligo-
chetai, visų pirma tubificidai (*Tubificidae*), gausiai aptinkami
turtingame organinių medžiagų dumble. Jie mažai jautrūs de-
guonies deficitui vandenyje.

Litoralinės zonos siaurinimas, paprastai ežero vandenį nu-
leidžiant, lygus ežero žuvingumo mažinimui, nes žuvis netenka
įprastų patogių nerštaviečių ir svarbios ganyklos.

Sublitoralinėje zonoje, arti sampyls, priedugninės srovės
dar pakankamai stiprios; čia aptinkami smėlingi ir akmeningi
gruntai; organizmų gyvenimui sąlygos gana įvairios, taigi ir
patys organizmai būna įvairūs. Sublitoralinei zonai, kaip žino-
me, būdingas kiaukutų susikaupimas. Tai liekanos ne vien vie-
tos gyventojų, bet ir priekrantinės juostos. Priekrantinės sro-
vės dumblo daleles prie dugno šlaito prispaudžia ir, grįždamos
padugne atgal, jas nuneša gilyn. Deguonies kiekis čia yra pa-
kankamas. Sublitoralinėje zonoje šviesos dar užtenka prieblan-
dą pakeliantiems augalams (*Chara*) augti.

Profundalį pasiekiančio šviesos kiekio neužtenka fotosinte-
zei, dėl to dugninė žalioji augalija negali ten vystytis. Tai pro-
fundalio gyvūnai maitinasi daugiausia nusileidusių numirusių
planktonu, o arčiau prie krantų — atnešamomis nuo pakrantės
augalinėmis liekanomis. Bangavimas ežero gelmių beveik ne-
pasiekia. Profundalinės srities dugną apkloja dumblas, kartais

turintis gausių organinių medžiagų. Dumblo dėka išsivysto vešli bakterijų ir grybelių flora. Gyvūnų pasaulis profundalyje gali būti gausus, bet ne per daug įvairus, paprastai susidedąs tik iš kelių rūšių. Vyrauja detrito ėdikai — mažašerės kirmėlės tubifekasai, uodų chironomidų vikšrai, o kai kuriuose ežeruose — smulkūs dvigeldžiai moliuskai. Juo giliau į ežero profundalį, tuo moliuskų ir chironomidų randama mažiau ir tuo didesnę persvarą įgauna tubifekasai. Dugno biocenoze, visų pirma bakterijos ir grybeliai, energingai transformuoja nusileidusias iš aukščiau medžiagas ir pasireiškia kaip biohidrologinė jėga, kuri sukuria iš transformuotos medžiagos sapropelį ir kitus biolitus. Apskritai imant, kirmėlės ir uodų-chironomidų vikšrai ventiliuoja viršutinius grunto sluoksnius ir ne vieną kartą praleidžia pro savo žarnyną dugnines nuogulas, prieš užklojant jas naujiems nuosėdų sluoksniams.

Iš to, kas sakytą, yra aišku, kad zoobentosas ežero dugno plote yra pasiskirstęs labai nevienodai. Jo rūšinį sąstatą ir gausumą nulemia vandens dujinis režimas ir termika, gruntų kokybė, augalų gausumas ir kiti faktoriai. Atskiri ežerai šiuo atžvilgiu yra labai nevienodi. Žuvų ūkio požiūriu Lietuvos sąlygose ežerai, kur zoobentosos produktyvumas, arba kiekis, yra didesnis kaip 100 kg/ha, laikomi daugiamaisčiais, o kur kiekis mažesnis kaip 30 kg/ha — mažamaisčiais. Pavyzdžiui, I. Gasiūno duomenimis (1957), eutrofiniame Metelių ežere (vid. gylis 6 m) zoobentosos kiekis gylyje iki 2 m ant molingo smėlio vasarą rastas 512 kg/ha, tame skaičiuje moliuskai sudarė 51,5%, vabzdžių (daugiausia žirgelių, apsiuvų ir lašalų) lervos 39,1%, vėžiagyviai 5,4%, kirmėlės 4,5%. To paties ežero 3—11 m gylyje rasta zoobentosos 326 kg/ha; moliuskai sudarė 66% to kiekio, chironomidai 23%, vėžiagyviai 6%, kirmėlės 4%. Vidutinis ežero dugno produktyvumas (zoobentosos kiekis) rastas 357 kg/ha. Rudenį atitinkami duomenys gaunami dar didesni.

Kitoks vaizdas yra mezotrofiniame Dusios ežere (vid. gylis 14,7 m), kur pašarinis zoobentosas 0—10 m gylyje rastas 135 kg/ha, o profundalinėje srityje 51,5—80 kg/ha. Vidutinis to ežero gruntų produktyvumas sudaro 91 kg/ha.

Reliktiniai ir kiti dugno vėžiagyviai. Kai kurių Lietuvos gilesniųjų ežerų profundalyje, kur yra palankesnis dujinis režimas (Dusios, Lūšių, Dubingių, Aiseto, Zaraso ir kituose eže-

ruose), buvo aptikta reliktinių vėžiagyvių rūšių, kurios toliau į šiaurę (Estijoje, Suomijoje) normaliai laikosi litoralyje. Ši ledynmečio palikimą sudaro skeltakojis vėžiagyvis *Mysis oculata relicta* ir vėžiagyvis *Pallasea quadrispinosa*. Į šiuos vėžiagyvius, kaip į vertingus bentofaginių žuvų maisto objektus, dabar kreipiamas ypatingas dėmesys. Dugniniai vėžiagyviai prieš chironomidus turi didelį pranašumą, nes jie yra nuolatiniai ežero gyventojai, o tuo tarpu dėl chironomidų imaginalinių stadijų masinio išskridimo vasaros periode profundaliai žuvų pašarinė bazė periodiškai labai sumenkėja.

Pavyzdžiui, naujesniais I. G a s i ū n o tyrimais (1957), Dusios ežero profundaliai tamsaus dumblo produktyvumas rudenį siekė net 308 kg/ha. To kiekio vien chironomidai sudarė 96,1 %, o liepos mėn., dėl chironomidų išskridimo, tamsaus dumblo produktyvumas krito iki 23 kg/ha.

Siekiant sušvelninti tokį ežerinio zoobentosos biomasės svyravimą, būtinai reikia praturtinti dugno fauną pirminiais vandens gyventojais, visų pirma vėžiagyviais. Remiantis tokiais samprotavimais, 1955 metais iš Kuršių marių buvo įveistas Dusios ir Metelio ežeruose vėžiagyvis korofijus (*Corophium curvispinum*). Šis vėžiagyvis, kaip ir dreisena, yra ponto-kaspijinės kilmės, į Lietuvos vandenį atkeliavęs Oginskio kanalu, kuriuo Nemuno baseinas buvo sujungtas su Dniepro baseinu. Numatomas šio vėžiagyvio įveisimas ir kituose mūsų ežeruose. Dėl panašių priežasčių 1957 m. iš Lūšio ir Šakarvos ežerų pradėtas reliktinio vėžiagyvio *Pallasea quadrispinosa* įveisimas pašarinio zoobentosos mažai turinčiame mezotrofiniame Platelių ežere.

Bentosos vystymasis profundalyje priklauso nuo hidrologinio režimo ir ypačiai nuo deguonies kiekio. Nuo profundalinės srities ganyklos turtingumo priklauso žuvų bentofagių skaičius ir augimo tempas. Svarbiausios iš tokių žuvų bentofagių — tai karšis ir sykas. Dėl intensyvios dugno organizmų gyvybinės veiklos, ypačiai mikrobo, sparčiai sunaudojamas deguonis iš priedugninio vandens, o tat, trūkstant ventilacijos, priveda prie bentoso žlugimo ir žuvų dusimo. Eilė dumblo masės bakterijų sukelia metano, vandenilio ir sieros vandenilio dujų iš dugno išsiskyrimą. Šitos dujos, kildamos, oksiduojasi ir atima deguonį iš aukštesnių vandens sluoksnių. Dugno bakterijos dalyvauja ir geležies rūdų susidaryme.

Pelaginės srities flora ir fauna. Ežero pelaginės srities gyventojai skirstomi į planktoną ir nektoną. Planktonas — tai mažų vandens masės gyventojų rūšys, nesugebančios aktyviai nugalėti nors kiek didesnius horizontalinius nuotolius. Planktoną sudaro bakterijos ir mikroskopinio dydžio dumbliai, o iš gyvūnų jame pagrindinę reikšmę turi smulkutės rotatorijos (*Rotatoria*), irklakojai vėžiagyviai (*Copepoda*) ir šakotaūšiai vėžiagyviai (*Cladocera*). Planktono gausumas yra ežero biologinio produktyvumo, to ežero ūkinės vertės rodiklis. Ežerai, kurių 1 m³ vandens planktono biomasė sudaro daugiau kaip 10 g, laikomi produktyviais.

Dalis planktono organizmų, arba, kaip juos vadina, plankterių, pasyviai sklendo turbulentiškai judančiame ežero vandenyje, o kita dalis tai pakyla į viršų, tai nugrimzta į gelmes. kartais kelis kartus per parą prasiskverbdoma pro hipo, meta- ir epilimnioną. Šis planktono sugebėjimas vertikalčiai migruoti biohidrologiniu atžvilgiu yra labai reikšmingas, nes plankteriai išnešioja medžiagas ir susieja atsiskyrusius vandens sluoksnius. Bentoso organizmai neretai būna stambūs, masyvūs, dažnai su sunkiu skeletu. O planktono organizmai daugiausia būna mikroorganizmai, mikroskopiški, jų specifinis svoris artimas vandens specifiniam svoriui; jų kūno išaugos didina trintį į vandenį, sulėtina grimzdimą ir leidžia plankteriams sklandyti. Daugelis plankterių turi tam tikrus judėjimo organus, kurie, be atvangos dirbdami, plankterį vandens masėje suturi.

Žiemą po ledu, ypačiai jeigu ledas apdengtas sniego sluoksniu, nepraleidžiančiu šviesos, pasidaro vargingesnis ir fitoplanktonas, ir zooplanktonas. Daugelio fitoplanktono organizmų žiemojama cistų ir sporų pavidalu. Sumažėja skaičius bakterijų, nes joms pritrūksta maisto, organinėms medžiagoms vandenyje mineralizuojantis. Iš zooplanktono sudėties iškrinta kai kurios svarbios organizmų rūšys, pvz. dafnijos, o pirmą vietą užima irklakojai — ciklopai ir diaptomusai. Ištirpusio deguonies atsargos, kurias atnaujinio rudeninė cirkuliacija, suvartojamos vandens gyvybių kvėpavimo procesui, o taip pat, bakterijoms tarpininkaujant, įvairių medžiagų oksidavimo procesui, pvz., oksidavimui metano, sieros vandenilio ir vandenilio, kylančių nuo dugno. Labiau uždumblėjusiose įdubose pasireišk-

kia deguonies deficitas, kuris vis auga ir auga, daro vis plonesnį vandens sluoksnį, kuriame įmanoma gyviems padarams apsirūpinti deguonimi. Tokiam sluoksniui visiškai suplonėjus, gali įvykti katastrofa, gali pasireikšti gyvų padarų, ypačiai žuvų, dusimas (trokšlius).

Pavasarį planktonas ima gausėti dar ežerui nuo ledo neatšipalaidavus, kai tik nutirpsta sniegas ir šviesa ima pro ledą prasiveržti. Paskui pavasarinė vandens sąmaiša pašalina visus dujinio režimo trūkumus. Be to, ta vandenų sąmaiša paskleidžia po ežero vandens masę biogenines medžiagas, susidariusias, pūvant lavonams rudenį mirusių gyvų padarų. Daug biogeninių medžiagų prineša ir pavasariniai vandenys, sutekėję į ežerą. Planktonas ima vystytis masiškai ir taip intensyviai, kad ežero vandens spalva pasikeičia. Biogeninės medžiagos sąlygoja organizmų mitybą, o saulės šviesa — fotosintezę.

Maisto gausumas, šviesa ir šiluma stimuliuoja tiek fitoplanktono, tiek zooplanktono vystymąsi; abu intensyviai dauginasi per visą pavasarį ir vasarą ir būna maistu planktofaginėms žuvims.

Vasarą ežero vanduo biologiniu požiūriu susiskaido į du sluoksnius: viršutinį — produkuojantį ir apatinį — trofolitinį, kur vyksta tik organinių medžiagų skaidymasis. Zooplankteriai paros būvyje vertikalčiai migruoja iš šviesaus ir šilto epilimniono į tamsų ir vėsų hipolimnioną, ir atgal. Fitoplanktonas ir zooplanktonas turi įtakos cheminiam ežero režimui. Didelis planktono gausumas turi įtakos ežero gyvenimui ir kitais atžvilgiais, ypačiai ežero vandens spalvai ir skaidrumui, t. y. šviesos režimui ir fotosintezei.

Baigiantis vasarai metalimnionas, t. y. šuolių sluoksnis, leidžiasi žemyn, ir temperatūrinis skirtumas tarp epilimniono ir hipolimniono palaipsniui mažėja, kol vėlyvą rudenį visa vandens masė persimaišo ir kuriam laikui įgauna vienodą temperatūrą. Rudenį plankteriai pasirengia žiemai. Daugelis jų iš planktono sudėties iškrinta, ar tiesiai nusileisdami ant dugno, ar nepalankaus meto išgyvenimą laidavę kiaušinių, sporų, cistų ar apsauginių apvalkalų produkcija. Po ledu dar kurį laiką vegetuoja diatomėjos, bet, sniegui ledą užklojus, pelagialyje pasidaro tamsu, fotosintezė darosi neįmanoma, ima dominuoti gyvūnai ir bakterijos. Prasideda ežere biologinė žiema.

Tai tokia, apskritai imant, pelagialio biologinių procesų schema metų būvyje. Bet tik apskritai imant. Gi imant atskirai, pvz., kalnų ežerus ar ežerus durpynų masyvuose, vandens žydėjimo vasarą gali ir nebūti. Pietiniuose regionuose priešžieminis gyvybės apmirimas rudenį pasireiškia ne taip ryškiai, ne taip intensyviai, kaip vidutinėse ar poliarinėse platumose.

Šį ciklą gali paveikti ir meteorologinės sąlygos, o taip pat pavasarinių vandenų kiekis.

VI. ŽUVYS

1. ŽUVŲ RŪŠINĖ SUDETIS EŽERUOSE

Žuvų, kurios neršia gėluosiuose vandenyse, Tarybų Sąjungos faunoje priskaitoma apie 300 rūšių. Lietuvos vidaus vandenyse atitinkamai priskaitoma (kartu su įveistomis, arba introdukuotomis) apie 50 rūšių. Dar mažesnis žuvų įvairumas yra mūsų respublikos ežeruose — iki 25 rūšių, skirstomų į 10 šeimų. Į šį skaičių įterptas ir ungurys, nors jo veisimasis nėra surištas su gėlaisiais vandenimis. Duodame Lietuvos ežeruose pasitinkančių žuvų sąrašą:

Šeimos	Rūšys
Lašišinės	seliava (<i>Coregonus albula</i>)
	sykas (<i>Coregonus lavaretus</i>)
Stintinės	stinta (<i>Osmerus eperlanus</i>)
Lydekinės	lydeka (<i>Esox lucius</i>)
Karpinės	kuoja (<i>Rutilus rutilus</i>)
	meknė (<i>Leuciscus idus</i>)
	raudė (<i>Scardinius erythrophthalmus</i>)
	saulažuvė (<i>Leucaspius delineatus</i>)
	lynas (<i>Tinca tinca</i>)
	aukšlė (<i>Alburnus alburnus</i>)
	plakis (<i>Blicca bjoercna</i>)
	karšis (<i>Abramis brama</i>)
	kartuolė (<i>Rhodeus sericeus</i>)
	paprastasis karosas (<i>Carassius carassius</i>)
	sidabrinis karosas (<i>Carassius auratus gibelio</i>)
	karpis (<i>Cyprinus carpio</i>)

Vijūninės	kirtiklis (<i>Cobitis taenia</i>)
Šaminės	vijūnas (<i>Misgurnus fossilis</i>)
Ungurinės	šamas (<i>Silurus glanis</i>)
Menkinės	ungurys (<i>Anguilla anguilla</i>)
Dyglinės	vėgėlė (<i>Lota lota</i>)
Ešerinės	trispyslė dyglė (<i>Gasterosteus aculeatus</i>)
	starkis (<i>Lucioperca lucioperca</i>)
	ešerys (<i>Perca fluviatilis</i>)
	pūgžlys (<i>Acerina cernua</i>)

Šį sąrašą būtų galima dar papildyti, atsižvelgus į Nemuno deltoje esantį Krokų Lankos ežerą, kuriame reguliariai lankosi iš Atmatos kai kurios tipingos reofilinės (upinės) žuvis, kaip strepetys (*Leuciscus leuciscus*), šapalas (*Leuciscus cephalus*), salatis (*Aspius aspius*), grūžlys (*Gobio gobio*), žiobrys (*Vimba vimba*) ir, gal būt, dar kai kurios kitos rūšys, o taip pat užklystanti iš Kuršių marių ožka (*Pelecus cultratus*). Savaimė suprantama, kad reofilinių žuvų gali pasitaikyti ir pratekamuosiuose ežeruose.

Vertingos Lietuvos ežerų žuvis yra seliava, karšis, lynas, lydeka, starkis, ungurys, o plačiai žinomos mažesnės vertės žuvis yra stinta, kuoja, aukšlė, raudė, plakis, ešerys, pūgžlys. Neturi jokios ūkinės reikšmės kartuolė, saulažuvė.

2. ŽUVŲ GYVENIMAS, MITYBA IR VEISIMASIS EŽERUOSE

Žuvų pasiskirstymas ežere metų būvyje. Ežerinės žuvis vi-suomet daugiau ar mažiau tarpusavyje skiriasi gyvenimo būdu, todėl, gyvenant joms tame pačiame baseine, tarp jų nusistoja sudėtingi tarpusavio santykiai, kuriems lemiamą įtaką turi tiek atskirų žuvų rūšių biologijos bruožai, tiek gyvenamojo ežero savumai ir ypatumai.

Kiekvienos žuvų rūšies išplitimas yra susijęs su tam tikra vandens temperatūros, dujų režimo ir kitų faktorių svyravimo amplitude. Be to, gali labai skirtis žuvų neršimo vietos ir maito objektai. Pagaliau, kiekvienos žuvies poreikiai įvairiuose jos individualinės raidos etapuose yra ne tokie patys, o dėsningai keičiasi. Visos šios priežastys turi lemiamą įtaką žuvų pasi-skirstymui ežere. Tas pasiskirstymas keičiasi priklausomai nuo metų laiko, nuo žuvies pagrindinių biologinių poreikių kitėjimo ir nuo jos amžiaus.

Žuvų pasiskirstymas ežere yra kitoks vasarą ir kitoks žiemą.

Rudenį vanduo pirmiausia atvėsta litoralinėje zonoje, todėl daugumas žuvų pasitraukia į sublitoralinę zoną ir į profundalinę sritį, kur jos išbūna per visą žiemą iki pat pavasario. Žiemą daugumos žuvų (karšio, kuojos, plakio, aukšlės, raudės, lyno, karoso ir kt.) aktyvumas labai sumažėja, žuvų maitinimasis labai susilpnėja arba ir visai nutrūksta. Tokios yra visos šiltavandenės, arba termofilinės, žuvys. Kitaip laikosi šaltavandenės žuvys — sykas, seliava, vėgėlė, kurios per visą žiemą būna veiklios. Veiklios pasilieka ir plėšriosios žuvys — starakis, lydeka, ešerys.

Visų žuvų gyvenime žiema yra kritiškiausias metų laikas. Po ledo danga dujų apykaita vandenyje pasunkėja, fotosintezė beveik sustoja. Dėl puvimąsio procesų ir gyvūnų kvėpavimo lengvai pasireiškia, ypač profundalyje, deguonies deficitas. Ežeruose, kur tai pasitaiko, žuvys jautriai reaguoja, jos koncentruojasi versmingose vietose ir intakų žiotyse, o kritišku atveju — trokšta. Jautriausios deguonies deficitui yra lašišinės žuvys — sykas ir seliava, kurioms normalus deguonies kiekis vandenyje turi būti 6—8 cm³/l, o minimalus — 1,5 cm³/l. Siek tiek mažiau opi yra vėgėlė (norma 5—7 cm³/l), dar mažiau opios — kuoja, ešerys, karšis, kurioms deguonies norma yra 4 cm³/l, o minimumas — iki 0,5 cm³/l. Atspariausi deguonies deficitui yra lynas ir karosas. Karosas žiemą išgyvena net esant tik 0,1 cm³/l deguonies, ko jau negali pakelti jokia kita žuvis. Tai gi vandens dujinis režimas — svarbus veiksnys, lemiantis ežero ichtiofaunos sudėtį.

Pavasariį vandeniui atšilus, žuvų pasiskirstymas ežere keičiasi: prasideda migracija į sublitoralį ir litoralį, nes čia vanduo greičiau įšyla ir sparčiai ima vystytis pašarinė fauna. Ežere nusistoja vasarinis žuvų pasiskirstymas.

Žuvų mityba. Mitybos požiūriu žuvys skirstomos į augalėdes ir gyvūnėdes.

Pilna žodžio prasme augalėdžių žuvų Lietuvos ežeruose nėra. Nemažai makrofītų ir fitoplanktono sunaudoja kuoja ir raudė, fitoplanktonu vasarą iš dalies minta aukšlė. Ryškesnė augalėdė yra kartuolė. Tikra augalėdė rūšimi, mintančia makrofītais, yra baltasis amūras (*Ctenopharyngodon idella*), svarbi Amūro baseino ir Kinijos karpinė žuvis. Stengiamasi šią žuvį

aklimatizuoti Tarybų Sąjungos europinėje dalyje. Visų augalėdžių žuvų pagrindinis biotopas yra litoralis.

Gyvūnėdės yra visos Lietuvos ežerų žuvys. Jas savo ruožtu galima suskirstyti į planktofagus, bentofagus ir ichtiofagus.

Planktofagais vadinamos tokios žuvys, kurių pagrindinį maistą sudaro zooplanktonas. Čia priklauso seliava, stinta ir aukšlė. Dėl tokios mitybos šios žuvys yra išsisklaidžiusios po ežero pelagialį. Tačiau vertikaliam šių žuvų pasiskirstymui turi įtakos skirtingas jų santykis su vandens temperatūra. Optimalinė temperatūra seliavai yra 10–15°, todėl vasarą ji laikosi tik gilesniuose pelaginės srities sluoksniuose (metalimnionė), dažniausiai 8–20 m gylyje (priklausomai nuo ežero). Labiau įšildomo epilimniono prisilaiko stinta ir aukšlė. Ši pastaroji dažnai slankioja pagal patį vandens paviršių, nurankiodama tupiančius ant vandens vabzdžius.

Prie bentofagų priklauso dauguma ežerinių žuvų. Jų pasiskirstymas, kaip ir planktofagų, taip pat nevienodas. Ežero litoralinės zonos laikosi karosas, lynas, smulkus ešerys, smulkus plakis, pūgžlys. Šiai grupei priskirtina ir kuoja, kuri tarp makrofitų nemažai išrankioja moliuskų ir kitokių bestuburių. Nedideliose ežeruose litoraliniai bentofagai gali būti pasklidę po visą ežero dugną.

Profundalinei sričiai būdingi kiti bentofagai. Lietuvos ežeruose tai visų pirma karšis ir sykas. Karšis yra būdinga žuvis vidutinio gylio ežerų profundaliui. Karšio pagrindinį maistą sudaro dugno infauna, t. y. gyvūnai, pasislėpę dumble. Jo svarbiausi konkurentai mitybos bare yra stambus plakis ir pūgžlys, kurie taip pat nusileidžia į sublitoralį ir viršutinį profundalį.

Gilioji profundalinė sritis, kur vanduo per ištisus metus pasilieka šaltas, tinka gyventi beveik vienam sykui. Tačiau šiam bentofagui reikia švaraus deguoningo vandens, todėl jam pilnai tinkamos sąlygos yra tik oligotrofiniuose arba gilesniuose pratekamuose ežeruose. Lietuvoje ši žuvis aptinkama Platelių ežere.

Prie ichtiofagų priklauso plėšriosios žuvys, kurios minta kitomis žuvimis. Šiai žuvų grupei priklauso lydeka, starkis, stambus ešerys, stambi stinta. Kai kuriuose ežeruose pasitaiko vėgėlė ir šamas; jie taip pat ichtiofagai.

Plėšriųjų žuvų pasiskirstymas ežere priklauso nuo jų prisitaikymo gyvenimo sąlygoms ir puolimo būdo.

Lydeka yra tipinga litoralinės zonos gyventoja. Jos kūno forma ir neporinių pelekų padėtis labai patogios stagių šuoliui pulti auką, o kūno spalva gerai ją maskuoja tarp makrofitų.

Skirtingai nuo lydekos, storkis ir stambi stinta yra pelaginiai plėšikai, savo panašia į verpstę kūno forma prisitaikę nuosekliai persekioti auką atvirame vandenyje. Pagrindiniai storkio maisto objektai yra pelaginės srities planktofagai — stinta ir aukšlė. Didstintė, t. y. stambi stinta, skirtingai nuo storkio, vasarą vengia per daug įšilusių viršutinių vandens sluoksnių. Jos pagrindinį maistą sudaro smulkios stintelės. Giluminis ešeris laikosi sublitoralyje.

Taigi matome, kad mitybos atžvilgiu ežero žuvis yra ryškiai diferencijuotos. Toji mitybinė diferenciacija yra prisitaikymo pobūdžio. Ji įgalina žuvis tobuliau išnaudoti ežero pašarinę bazę ir švelnina tarp jų konkurenciją dėl maisto. Tirščiausiai apgyventa ežero dalis yra litoralinė zona, todėl čia žuvis tarpusavyje labiausiai konkuruoja.

Neršimas. Žuvų pasiskirstymas ežere pasikeičia neršimo periode. Litoralinėje zonoje neršia ne tik čia pastoviai gyvenančios rūšys, bet ir tos, kurių ganykla yra profundalyje ir pelagialyje. Prieš pat nerštą vyksta žuvų migracija į ežero pakraščius, o nerštui pasibaigus, vyksta atvirkštinė migracija į atitinkamas ganyklas.

Savo ikrus dauguma ežerinių žuvų (lydeka, karšis, kuoja, plakis, raudė ir kt.) išneršia tik ant augalinio substrato. Tokias žuvis vadina fitofilinėmis. Kitaip elgias ežerinės lašišinės žuvis — seliava, sykas. Jos neršia ant mineralinio substrato — ant smėlėto, žvirgždėto bei akmenuoto grunto. Jas vadina litofilinėmis žuvimis. Žuvų skirstymas pagal neršimo substratą ne visada gali būti griežtas: tiek ant augalų, tiek ant mineralinio grunto gali neršti stinta, aukšlė, ešeris ir kai kurios kitos žuvis. Tinkami neršimui gruntai yra svarbi sėkmingo žuvų veisimosi ežere sąlyga. Kadangi visi Lietuvos ežerai yra daugiau ar mažiau eutrofizuoti, todėl visada sunkesnėje padėtyje neršimo atžvilgiu yra litofilinės žuvų rūšys, ir jų išplitimas ežeruose yra ribotesnis negu fitofilinių žuvų.

Kai kurios biologinės adaptacijos, švelninančios jauniklių konkurenciją dėl maisto. Visoms Lietuvos ežerų žuvims bendra

yra ne tik tai, kad jos neršia litoralyje, bet ir tai, kad čia vystosi ir auga absoliutinė dauguma jų jauniklių. Tie jaunikliai iš pradžių minta panašiu maistu — daugiausia planktonu bei tarp makrofitų gyvenančiomis smulkutėmis vabzdžių lervomis. Todėl tarp jauniklių mitybiniai santykiai yra labai įtempti. Šių jauniklių konkurenciją dėl maisto sušvelnina išsivystymas žuvyse eilės svarbių biologinių prisitaikymų.

P i r m a s i s prisitaikymas — **įvairių žuvų rūšių neršimas skirtingu laiku**. Daugumą žuvų rūšių neršia pavasarį ir vasaros pradžioje. Jau balandžio gale neršia kuoja, gegužės mėnesyje — karšis, birželyje — raudė, lynas, karosas. Tik vėlyvą rudenį ir žiemos pradžioje neršia seliava ir sykas, dar vėliau — vėgėlė. Dėl tokio neršimo laiko nevienodumo įvairių žuvų rūšių jaunikliai išrieda skirtingu metu, o tai prasimaitinimą jiems daro lengvesnį. Įdomu, kad lydeka neršia anksti pavasarį. Jos jaunikliai, per mėnesį paūgėję, atsisako nuo zooplanktono ir ima maitintis jau gausiai pasirodžiusiais kitų žuvų jaunikliais.

A n t r a s i s prisitaikymas — **daugelio žuvų rūšių neršimo laiko ištįsimas**. Žuvys šiuo požiūriu skirstomos į dvi grupes.

Pirmajai grupei priklauso žuvys, kurios normaliai pradeda neršti, esant vandens temperatūrai žemesnei negu 10°. Čia priklauso pavasarį neršiančios rūšys, kaip stinta, lydeka, kuoja, meknė, ešerys, o taip pat vėlyvą rudenį ir žiemą neršiančios žuvys, kaip seliava, sykas ir vėgėlė. Visos šios žuvys išneršia ikrelius **t o t a l i š k a i**, t. y. kiekviena patelė išmeta ikrelius per trumpą laiką, visus iš karto. Po neršto tokių žuvų gonadose lieka tik rezervinių ikrelių užuomazgos, iš kurių nauji subrendę ikreliai išsivystys tik per metus.

Antrajai grupei priklauso žuvys, kurios neršia vėlyvą pavasarį ir vasarą, esant vandens temperatūrai aukštesnei negu 16°. Šios žuvys neršia **p o r c i j o m i s**, t. y. išneršia ne visus ikrelius iš karto, o iš pradžių tik labiausiai subrendusius (I porciją). Maždaug po 10 dienų išmetama II ikrelių porcija, toliau po pertraukos išmetama III ikrelių porcija, ir t. t. Lietuvos ežeruose porcijomis neršia nemažas žuvų rūšių skaičius: raudė, lynas, plakis, aukšlė, kartuolė, karosas, karpis, dyglė, pūgžlys. Tokių žuvų gonadose prieš neršto periodo pradžią visada galima rasti greta subrendusių ikrelių dar ir visokio dydžio mažesnių ikrelių, kurie priklauso tolesnėms porcijoms, t. y. kurie dar tame pačiame neršto periode subręs ir bus

porcijomis išneršti. Porcijų dažniausiai būna 2—3. Kartais būna ir daugiau. Todėl tokių žuvų neršto periodas yra kur kas ilgesnis negu totališkai neršiančių žuvų. Jis trunka iki dviejų mėnesių.

Porcijinio neršimo biologinė prasmė yra visų pirma ta, kad labai padidėja rūšies vislumas; be to, iš skirtingoms porcijoms priklausančių ikrelių jaunikliai išrieda skirtingu laiku. Kada iš paskutinės ikrelių porcijos išriedėję jaunikliai minta tik pačiais smulkiaisiais gyvūnėliais (infuzorijomis, rotatorijomis), tai iš ankstesnių porcijų išsivystę jaunikliai yra jau gerokai paūgėję ir orientuojasi į stambesnius objektus (ciklopus, dafnijas). O tai sušvelnina jauniklių išmitimo sąlygas.

Porcijinis neršimo tipas išsivystė labiau pietinėse platumose, kur vegetacijos periodas yra pakankamai ilgas, kad net iš paskutinės porcijos atsiradę jaunikliai, iki prasidedant žiemai, gerokai paūgėja ir sustiprėja. Tokių privalumų neturi aukštesniųjų geografinių platumų žuvis, nes ten vasaros yra trumpos, todėl ten pranašesnėmis tampa totališkai neršiančios žuvis. Tokios išvados teisingumą patvirtina kai kurios žuvų rūšys (pavyzdžiui, karšis), kurios pietinėse savo arealo dalyse (Volgos deltoje) neršia porcijomis, o šiaurinėse (Lietuvos ežeruose) — totališkai.

Trečiasis prisitaikymas, švelninąs žuvų jauniklių konkurenciją dėl maisto, yra tų **jauniklių vystymosi stadiškumas**. Įvairių žuvų jauniklių maisto spektrai iš pradžių sutampa. Jaunikliai pradžioje yra planktofagai. Jų kūno forma, kaip tikrų planktofaginių žuvų, yra pailga, patogi slankioti vandenyje horizontaline kryptimi. Tačiau greit prasideda diferenciacija — išsivysto naujos prisitaikymo prie skirtingų maisto objektų ir skirtingų gyvenimo sąlygų formos, o tai veda prie atitinkamų jaunos žuvies kūno formos bei žuvies biologijos pakitimų. Vienos žuvis ima maitintis augaliniu maistu, kitos pradeda naudotis dugno paviršiuje esančia fauna (epifauna), pastebėdamos grobį akimis; kitos aklai rausiasi dumble, ieškomos pasislėpusių ten chironomidų vikšrų bei kirmėlių (infaunos); pagaliau, trečios pradeda plėšrų gyvenimo būdą. Tik palyginti nedau-gelis ežerinių žuvų rūšių iki subrendimo pasilieka ištikimais planktofagais, tačiau, kaip esame matę, ir tarp jų išsivysto gana toli siekianti diferenciacija.

Žuvų mitybinė diferenciacija ypač aiškiai pastebima stambiuose ežeruose su ryškiomis zonomis ir sritimis ir pasižymintuose gana turtinga žuvų fauna.

VII. PAUKŠČIAI

Labai įdomi ežerų faunos dalis — paukščiai. Ežerai vilioja paukščius maisto gausumu, o vešli pakraščių augalija — saugiomis perėti vietomis. Glaudžiausiai susiję su vandeniu yra vandeniniai paukščiai. Jų plunksnos nešlampa, visi jie gerai plaukioja, o daugelis ir puikiai nardo.

Geriausi nardytojai yra narai ir kragai. Jie minta žuvimis. Kai kuriuose šiaurės rytų Lietuvos ežeruose peri juodkaklis naras (*Colymbus arcticus*), kurio tikroji tėvynė yra labiau į šiaurę pasidavę kraštai. Kragų Lietuvos ežeruose pasitaiko keturios rūšys, iš kurių labiausiai žinomas ausuotasis kragas (*Podiceps cristatus*). Kragai ir ypač narai yra tikri pelaginiai paukščiai, jų veiklai reikalingi atviri vandenys.

Sekliuose ežeruose, ypačiai litoralinėje zonoje, laikosi įvairūs plokštėtasnapiai — antys, žąsys ir gulbės.

Ančių Lietuvoje pasitaiko iki 20 rūšių, iš kurių apie 10 čia peri. Ežeruose gausiausia yra didžioji antis (*Anas platyrhynchos*). Didžiuliai praskrendančių ančių pulkai apsistoja Lietuvos ežeruose rudenį.

Laukinės žąsys dabar per Lietuvą tik praskrenda. Labiausiai yra žinoma pilkoji žąsis (*Anser anser*). Kadaise ji perėjo ir Lietuvoje. Siekiant įveisti pilkąją žąsį Žuvinto ežere, buvo pargabenta žąsų kiaušinių iš Volgos deltos, ir jie naminių žąsų vietoje išperinti. Bet rezultatai buvo gauti nepatenkinami.

Stambiausi iš vandeninių paukščių yra gulbės. Lietuvoje traukimo metu jų pasitaiko iki trijų rūšių, tačiau perėti pasilieka tik viena rūšis — gulbė nebylė (*Cygnus olor*). Šios rūšies gulbės jau seniai buvo nustojusios Lietuvoje perėti, o tik trumpai čia apsistodavo, į šiltus kraštus lėkdamos ar iš jų parlėkdamos. Tik labai retais atsitikimais viena kita pora pasilikdavo visai vasarai ir perėdavo. 1938 m. perėjo tik viena pora. Bet pastaruoju metu gulbės Žuvinto ežere peri kasmet net po keliasdešimt porų. Gulbėms Žuvinto ežere pagausėjus, tarp jų ėmė reikštis konkurencija ir jos pradėjo plisti į aplinkinius ežerus. Tirščiausiai gulbių gyvenamas dabar yra Žaltyčio ežeras

(netoli Žuvinto). Gulbės pradėjo plisti ir į kitas Lietuvos dalis — jau peri Kuršių mariose ir Žemaičių ežeruose.

Gulbės pavasarį parskrenda anksti, kai kada net per anksti, kai dar ežeras būna apsidengęs ledu. Tokiu atveju tenka gulbes paremti, parūpinti joms lesalo. Minta jos minkštąją vandens augaliją.

Apie balandžio vidurį gulbės Žuvinto ežere ima krauti lizdus, paprastai plovuose. Esama plovų, vėjo varinėjamų. Kai kada vėjas plovą nuvaro apie 1 km, bet į tai gulbės nekreipia jokio dėmesio: peri sau, ir tiek.

Gulbių pora nemėgsta artimos kaimynystės su kitomis poromis, ypač išsiritus gulbiukams. Tuo metu gulbės smarkiai susipeša. Dėl peštynių dažnai skaudžiai nukenčia pūkuočiai — dar be plunksnų, tik pūkais apžėlę gulbiukai. Kai kada nugalėjusi pora pasisavina nugalėtosios poros šeimą, todėl kai kurių gulbių porų šeimos būna labai didelės. Bet gulbės paaugusių svetimų gulbiukų į savo šeimą ne tik kad nepriima, bet dargi mirtinai primuša. Kai kada tokius nelaimingus gulbiukus tenka rezervato darbuotojams gelbėti.

Rudenį gulbės išskrenda gana vėlai, kai ežeras apsikloja ledu.

Tikru vandeniniu paukščiu yra laukys (*Fulica atra*), beveik anties dydžio paukštis, priklausąs vandeninių vištų būriui. Rudens metu, prieš išskrisdami, laukiai susimeta į didžiulius būrius ir dažnai plaukioja drauge su antimis. Kiti šio būrio atstovai (švygžda, nendrinė vištelė, ilgasnapė vištelė ir kt.) yra būdingi plūduriuojančių augalų juostai.

Labai glaudžiai yra su vandeniu susiję kirai bei žuvėdros. Šie paukščiai savo grobį išžvalgo skraidydami virš vandens. Iš kirų labiausiai su ežerais susijęs rudgalvis kiras (*Larus ridibundus*), kurio gausi kolonija peri Urkio ežere (netoli Molėtų).

Tačiau ypač tirštai paukščių gyvenamos ežerus juosiančių makrofytų tankynės. Tankiuose nendrynuose laikosi ypatingu baubimu pasižymintis didysis baublys (*Botaurus stellaris*). Jo baubimą, tur būt, paremia ežero akustika. Sausumoje kažin, ar jis būtų nusipelnęs baublio vardą. Baubliui artimas pilkasis garnys (*Ardea cinerea*) laikosi ežero sekliuose pakraščiuose ir minta žuvimis. Jis, skirtingai nuo baublio, peri kolonijomis aukštuose medžiuose. Iš giesmininkų nendrynuose gausios čia krakšlės, nendrinukės, nendrinės startos.

Didelis perinčių vandeninių paukščių priešas yra nendrinė lingė (*Circus aeruginosus*). Ežerų pakraščiais dažnai skraido juodasis peslys (*Milvus migrans*), mintantis daugiausia negydomis žuvimis.

*

Paukščių apsaugai Žuvinto ežeras ir palios paversti rezervatu, kuriame dabar veisiasi reti ir vertingi paukščiai, jų tarpe gulbė nebylė. Tai pirmasis gamtos rezervatas Lietuvoje.

Žuvinto rezervatas užima apie 4 000 ha plotą (įskaitant ir patį ežerą). Įvairių paukščių gausumas šiame ežere seniai traukė į save ornitologų dėmesį. Tačiau rezervatas buvo įsteigtas tik 1937 metais, o mokslinė veikla buvo jame išplėsta tik tarybiniais metais. Numatoma tą veiklą dar labiau išvystyti, atitinkamai rezervatą pertvarkius ir sutvarkius.

Vieni paukščiai rezervate peri, kiti jame apsistoja pasilsėti ir pasiganyti, rudenį — išskrisdami į šiltesnius kraštus ir pavasarį — iš jų grįždami. Perintiems sąlygos gana patogios. Pats ežeras labai užžėlęs, išskyrus jo dalį į Simno pusę (prie Žuvinto ir Aleknonių kaimų), o žmonių gyvenama atokiai, ypačiai Kapsuko kryptimi.

VIII. TERMINĖ EŽERŲ KLASIFIKACIJA

Seniai suprasta, kad vidaus vandenys yra klimato funkcija,— suprasta A. I. Vojeikovo dėka (1884). Kad flora ir fauna priklauso nuo klimato, pastebėta dar seniau. Nuo klimatinų zonų priklauso ežero temperatūra, kuri savo ruožtu veikia vandenų cirkuliaciją, chemizmą, ežerinę florą, o ypačiai fauną.

Kalbėdami apie biologinius reiškinius ežeruose, turėjome omenyje visų pirma Lietuvos klimatinės sąlygas,— vidutinio klimato ežerus. Kad būtų kiek paliesti ir kitų klimatinų zonų ežerai, pateiksime bendrus terminės ežerų klasifikacijos bruožus.

Pirmą tokią klasifikaciją sudarė Forelis. Jis pagal vandenų temperatūrą ežerus suskirstė į poliarinius, vidutinio klimato ir tropinius. Uiplas (Whipple, 1927) kiekvieną forelinį tipą suskaidė į 3 grupes. Gauta tokia schema.

I. Poliariniai ežerai. Paviršinės temperatūros niekuomet nebūna didesnės kaip 4°.

1. Giluminių vandenų temperatūra būna 4° per visus metus. Cirkuliacija galima vasarą; dažniausiai visai jos nebūna.

2. Giluminių vandenų temperatūra svyruoja apie 4° . Cirkuliacija vyksta vasarą.

3. Giluminių vandenų temperatūra priartėja prie paviršinių vandenų temperatūros. Cirkuliacija beveik nuolatinė, išskyrus periodą, kai ežeras būna po ledo danga.

II. Vidutinio klimato ežerai. Paviršinės temperatūros gali būti aukštesnės ir žemesnės už 4° .

1. Giluminių vandenų temperatūra būna 4° per visus metus. Galimi du cirkuliacijos periodai (pavasarij ir rudenij); dažnai jos visai nebūna.

2. Giluminių vandenų temperatūra svyruoja apie 4° . Du cirkuliacijos periodai (pavasarij ir rudenij).

3. Giluminių vandenų temperatūra priartėja prie paviršinių vandenų temperatūros. Cirkuliacija nuolatinė, išskyrus periodą, kai ežeras būna po ledo danga.

III. Tropiniai ežerai. Paviršinė temperatūra visuomet aukštesnė negu 4° .

1. Giluminių vandenų temperatūra maždaug 4° per visus metus. Cirkuliacija galima žiemą.

2. Giluminių vandenų temperatūra svyruoja apie 4° . Vienas cirkuliacijos periodas (žiemą).

3. Giluminių vandenų temperatūra priartėja prie paviršinių vandenų temperatūros. Cirkuliacija, imant praktiškai, vyksta per visus metus.

Jošimura (Iochimura, 1936) ežerus suskirstė į tropinius, subtropinius, vidutinio klimato, subpoliarinius ir poliarinius.

B. B. Bogoslovskis (1960) laiko Hatčinsono nuopelnu pastangas susieti terminėje klasifikacijoje ežerų termiką ir chemizmą. Termika sietina ir su ežero biologija. Prisiminkime termofilines ir šaltavandenės žuvis.

EŽERO VYSTYMOSI EIGA ♦ NUOSĖDOS

I. EŽERO VYSTYMOSI CIKLAS

1. BENDROJI SCHEMA

Kuo ežeras prasideda, patyrėme morfologijos skyriuje, kalbėdami apie ežerų dubenų morfogenezę ir genezinę ežerų



89 pav. Buvo ežeras; paskui žemapelkė; pagaliau aukštapelkė

klasifikaciją. O kuo pasibaigia — gražiausiai pavaizduoja 89 paveikslėlis.

Iš paveikslėlio matyti, kad būta ežero, to ežero uždumblėta ir jo vietoje atsirasta pirma žemapelkės, o paskui aukštapelkės,— vietoje įdubimo susidarė inversinė forma — iškilimas. Beveik du trečdaliai Lietuvos TSR pelkių yra ežerinės kilmės.

Jei pirminio dubens būta didelio, tai gaunamas tik ką aprašyto proceso variantas: vienos dubens vietos išvirsta anksčiau į aukštapelkę už kitas ir apsupa vandens plotus,— mažesnius ežerus. Tie plotai ima mažėti lėčiau, nes aukštapelkė taip nesiveržia į ežerą, kaip žemapelkė. Priežastis — žemapelkių ir aukštapelkių augalijos skirtingumas. Žuvinto ežeras jau daugiau kaip 2000 metų ploto atžvilgiu maždaug vis to paties dydžio. Jame užžėlimas padidėjo tik XIX a. dėl antropogeninių veiksnių įtakos. Melioraciniais sumetimais buvo pakeistas jo

hidrologinis režimas. Vandenys į Žuvinto ežerą ėmė sparčiau susirinkti, bet daug sparčiau ir ištekti. Šiaip jis būna mažai vandeningas. To pasekmė — deguonies kiekio sumažėjimas, organinių medžiagų skaidymosi sulėtėjimas, didesnis dumblo kaupimasis ir spartesnis makrofitų įsigalėjimas.

Nepaisant šios pastabos, vis dėlto bendra ežerų tendencija tenka laikyti — išnykimą iš žemės rutulio paviršiaus. Tokia tendencija pasižymi ir kalnai ir šiaip žemės paviršiaus nelygumai. Kalnų tendencija — žemėti, nelygumų — lygėti. Žemėti ir lygėti verčia svorio jėga, dėl kurios teka vandenys, pučia vėjai. Tekantieji vandenys ir vėjai prineša į ežerą įvairių sąnašų; vėjai sukelia bangas, bangos ardo krantus, supilamos sampylos. Tuo naudojasi augalai ir veržiasi į ežerą. Nesilieka be reikšmės apskritai ežero biologija. Dėl įvairių veiksnių įtakos ima kauptis ant ežero dugno dumblas. Tokiu keliu svorio jėga ežerą panaikina. Ta jėga ypačiai mėgsta naudotis upės grobikės. Štai dar mūsų atminimu tokia upė grobikė, kairysis Merkio intakas Ūla, nuleido du ežerus — Pelesos ir Dubo. Gamtininkas T. Ivanauskas (gim. 1882 m.) tuos ežerus matė ir jais gėrėjosi, bet po kiek laiko jų pasigedo ir į šių dviejų ežerų išnykimo faktą atkreipė geografų dėmesį.

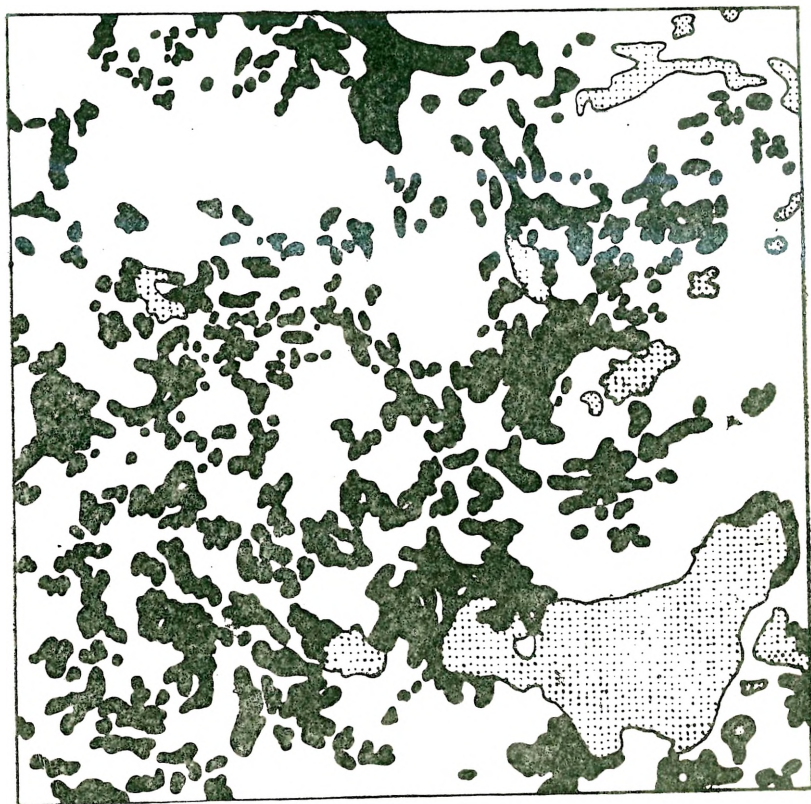
Taigi ežerai nuolatos nyksta ir daugelis jų jau išnyko. Tai matyti iš 90 paveikslėlio.

„Lietuvos TSR fizinės geografijos“ I tomo 273 psl. yra lygiai tokio pat pobūdžio paveikslėlis, kaip 90. Tai reiškia, kad ir Lietuvoje, sužymint ligi šiolei išsilikusius ir išnykusius ežerus, gaunamas toks pat vaizdas kaip ir Lenkijoje. Daugelis ežerų, ypačiai telkšančių pelkėse,— tai tik liekanos seniau buvusių didelių ežerų. Slinko metai po metų, ir ežerai vieni sumažėjo, kiti visai išnyko.

Metai ežero gyvenime sudaro taip pat ciklą. Iš metinių ciklų susidaro bendrasis ežero vystymosi ciklas. Kiek laiko jis trunka? Koks ežero amžiaus ilgis?

Sakykime, kad ežero didžiausias gylis 20 m ir tas gylis kasmet sumažėja 1 mm. Tai kad ežeras visiškai išnyktų, reikės maždaug 20 000 metų. Šis skaičius nėra tikslus, jis tik orientacinis, bet vis dėlto apie ežero amžiaus ilgį šį tą pasako.

Ežero vystymosi ciklas paprastai skaidomas į jaunystės (aišku, perkeltine reikšme), subrendimo, senatvės, karšties ir agonijos fazes. Tos fazės šitaip apibūdinamos:



Išlikę ežerai



Išnykę ežerai

90 pav. Išlikę ir išnykę ežerai (Lenkijoje)

J a u n y s t ė s f a z ė. Nuosėdos dar neturi žymios įtakos į ežero pirminio dubens formą; pirminis dubens reljefas dar nepakeistas nei upių sąnašų, nei žemių, nuplautų ar išplautų iš ežero krantų*.

S u b r e n d i m o f a z ė. Iš išgraužos ar išplovos susidarė sampyla, susiformavo atabradas. Palei intakų žiotis susikaupė stambių sąnašų povandeniniai ar antvandeniniai kūgiai. Bet

* V. Gudelio „Geologijos ir fizinės geografijos terminų žodyne“ (Vilnius, 1956) nurodyta, kad **nuosėdos** taikytinos vandens aplinkai, arba terpei, o terminas **nuogulos** — sausuminėms sąlygoms. Tačiau liaudies kalboje drumzlės skystyje **nusėda** ir **nugula**, nedarant jokio skirtumo. Taigi vandens aplinkai galima taikyti ir nuosėdas, ir nuogulas. Sausuminėms sąlygoms, žinoma, tinka tik nuogulos.

vis dėlto pirminio dubens žymės daug kur yra užsilikusios, nes upių atneštas ar pačiame ežere susidaręs dumbblas dar nelygumų neužlygino, kad ir gerokai jį aplygino. Daug kur pro ploną sluoksnį dumblo prasišviečia pirmąsios dubens formos smulkmėnos.

Senatvės fazė. Sąnašos, dumbblas vyrauja visur. Pajomis visur pasislėpė pirminio dubens atšlaitės. Beveik visą ežero dubenį užėmė centrinė horizontali lyguma, kurią supa sampylos ir sąnašų kūgių atšlaitės. Pats dubuo pasidarė panašus į nukirstą konusą, kurio apatinis pagrindas turi tendencijos mažėti ir paversti nukirstą konusą nenukirstu.

Karšaties fazė. Ežeras išvirto kūdra, bet vis dėlto jis dar ežeras. Centrinė lyguma, pastorėjus dumblo sluoksniui, pakilo ir beveik ar visai susilygino su sampylos ir sąnašų konusų viršūne. Ežere nepastebimi jokie polinkiai, išskyrus pirmąjį, t. y. kranto polinkį. Tai sekus ežeras, be jokių gylių; jis gali būti visas prižėlęs litoralinės augalijos.

Agonijos fazė. Ežeras pavirto pelke, bet vis dėlto, lyg prisiminęs ankstesnius savo gyvenimo periodus, nenori jai pasiduoti: kai kada pavirsta vėl ežeru bent pavasarį. Bet pamažu vis labiau ir labiau įsigali pelkėms būdingi augalai, ežero vietą užima žemapelkė, o vėliau aukštapelkė. Tokių aukštapelkių Lietuvoje esama nemažo skaičiaus.

Nustatant fazes, reikia atsižvelgti ir į vandens spalvą (žr. Optikos skyrių).

Net mažiausiai išsivysčiusius Lietuvos ežerus reikia skirti prie subrendusių ežerų, nes nėra tokio ežero, kad nebūtų susiformavus sampyla, kad nebūtų atabrado. Esama taip pat nemažo skaičiaus gerokai uždumblėjusių ežerų. Tai rodo ir ežerų pavadinimai: Dumblys, Dumblis, Dumblelis, Dumblinis. Nemažas skaičius ežerų pamažu miršta, nyksta. O dar daugiau jų išnyko. Išnyko, žinoma, seklesni ežerai ir ežerėliai. Tačiau dar užsiliko per 2500 ežerų, kurių paviršiaus plotas ne mažesnis už 1 ha.

Baigdami šį skyrelį, įsidėmėsime šias dvi pastabas.

Pirmoji. Ežero amžius priklauso ne tik nuo egzistavimo metų skaičiaus. Ežeras metų skaičiaus atžvilgiu gali būti tokio pat senumo, o atsižvelgiant į kitas žymes, gali būti daug jaunesnis ar senesnis už kitus vienu metu su juo atsiradusius ežerus.

Antroji. Pateiktoji ežero vystymosi ciklo schema yra bendra schema, teisinga, kalbant apie ežerus bendrai. Atskirai gali būti ir kitokių atvejų. Ežeras gali nutekėti, nesulaukęs senatvės. O gali pasenęs ežeras pajaunėti ar net numiręs atgyti, jei, klimatui pasidarius drėgnesniam, ims jis maitintis didesniais vandenų kiekiais. Didesni vandenų kiekiai pakeis augaliją, pakeis ir bendrą jo vaizdą, pakeis jo išsivystymo fazę, — ežerą atjaunins.



Kai kada prireikia ežerą dirbtiniu būdu pasendinti ar atjauninti. Svarbiausia pasendinimo priemonė — ežero paviršiaus nuleidimas, o svarbiausia atjauninimo priemonė — to paviršiaus pakėlimas. Pirmuoju atveju susidaro sąlygos augalams veržtis į ežero plotus palankios, o antruoju — nepalankios.

Ežerus atjauninant, taikomas ir kuopimas dumblo, kuris naudojamas laukų tręšimui ir kitiems reikalams. Bet ši priemonė turi ir neigiamą savumą, kai ežeras tvokso aukštapelkėje: išsiurbus dumblą, iš apyežerio įsisunkia daug rūgštaus vandens, ir tai suardo įsigalėjusias ežere biocenozes.

2. EŽERŲ VYSTYMO SI NEVIENODUMO PRIEŽASTYS

Įdomus ir svarbus klausimas: dėl ko vieni ežerai vystosi sparčiau, o kiti lėčiau? — Daug geros medžiagos atsakymui į šį klausimą yra M. Vasiliauskiėnės darbe „Atabradyų ypatumai skirtingų genetinių tipų ežeruose“ (1959). M. Vasiliauskiėnė tyrė ir lygino Ančios ir Metelio ežerus ir priėjo tokias išvadas, kurias dėl jų svarbumo čia pateikiame *in extenso*.

„Tiriamųjų ežerų atabradyų skirtumus nulėmusius faktorius, jų veiklos atžvilgiu, galime skirstyti į tiesioginius ir netiesioginius. Pirmieji jų betarpiškai formuoja atabrada, antrieji tik vienu ar kitu būdu sąlygoja pirmųjų veikimą.

Tiesioginiais faktoriais galima laikyti bangavimą, priekrantines, nuotakines, konvekcines, patvankines ir nuotvankines sroves, įtekančių ir ištekančių upių veiklą, ledo veiklą, požeminius vandenis ir augaliją.

Netiesioginiais yra vėjas, paviršinė nuoplova, vandens lygio svyravimai.

Griežtos ribos tarp jų praveisti negalima, nes kai kurie iš šių faktorių (pvz., vėjas, vandens augalija, patvankinės ir nuotvankinės srovės) veikia tiek tiesiogiai, tiek ir netiesiogiai.

Vienas iš pagrindinių veiksnių, nulėmusių Ančios ir Metelio ežerų atabrado skirtumus, yra jų dubenų genezė. Ji nulėmė skirtingus pirminius gylius ir formas, t. y. suteikė skirtingas sąlygas veikti po to atabrado formuojantiems veiksniams. Pastarųjų tarpe svarbiausią reikšmę turėjo ir tebeturi bangavimas ir priekrantinės srovės, o tuo pačiu ir juos sukeliančio vėjo veikla. Šie faktoriai yra lygiai svarbūs abiem ežeram, tačiau jiems veikti dideliame ir plačiame Metelio ežere sąlygos yra geresnės negu siaurame, vingiuotos formos rininiame ežere.

Kiti faktoriai atabradams turi kur kas mažesnės įtakos. Jų tarpe vienas iš svarbesniųjų yra augalija. Ji svarbi abiejų tiriamųjų ežerų atabrado vystymuisi, tačiau vis dėlto palankesnės sąlygos jai plisti yra Metelio ežere.

Iš faktorių, turinčių didesnės įtakos vieno kurio nors iš tiriamųjų ežerų atabrado vystymuisi, reikia pažymėti požeminių vandenių įtaką bei įtekančių ir ištekančių upių ir jų sąlygojamų nuotakinių srovių veiklą. Šie faktoriai turi įtakos Ančios ežero atabrado, tuo tarpu kai Metelio ežere jų veikla tiek nežymi, kad ją sunku atsekti. Priešingai, Metelio ežere geresnės sąlygos yra ledui, patvankinėms-nuotvankinėms srovėms ir vandens lygio svyravimą veikti.

Atbradų vystymosi vaizdas atskleidžia vieną puikiausių gamtos dialektikos pavyzdžių; iš jo galima suprasti, jog nuolat vykstantis atbrado keitimasis yra prieštaringas vienu metu veikiančių faktorių sąveikos rezultatas“.

Apžvelgdami ežero vystymosi eigą, svarbiausiu ežero amžiaus požymiu laikėme atbrado susiformavimą. Tie veiksniai, kurie atbrado formavimąsi skatina, ežerą sendina. Juo tų veiksnių daugiau ir juo intensyviau jie pasireiškia, tuo sparčiau ežeras bręsta ir sensta. M. Vasiliausienės išvadose tie veiksniai nurodyti,— pažymėta, kas ir kaip atbradą formuoja.

Pasirodo, kad ir čia labai daug reikšmės turi ežero dubens genezė ir jo forma, o tat buvo viso mūsų kurso leitmotyvas.

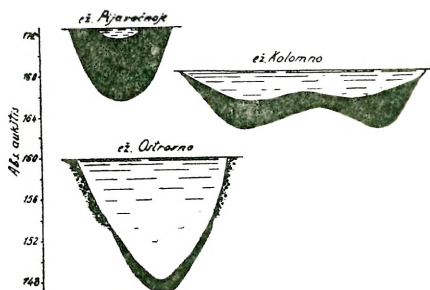
Tenkinantis bendrais bruožais, galima sakyti, jog ežerai išnyksta dėl įvairių vienu ar kitu keliu į ežerą patekusių nuogulų, arba nuosėdų, ir dėl užžėlimo. Nuosėdos, sunėštos tekan-

čiųjų vandenų (intakų, paviršinės nuoplovos), vadinamos sąnašomis. Kartais tų sąnašų prinešama tiek daug, jog intako delta toli įsibrauja į ežero plotus.

II. EŽERINĖS NUOSĖDOS IR EŽERO UZZĖLIMAS

Iš antraeilių ežero komponentų svarbiausiu laikytinas dumblas, kurio ant ežero dugno kartais prisirenka nepalyginti daugiau negu yra šiuo metu vandens (91 pav.).

Iš Lietuvos TSR ežerų labai gražiu pavyzdžiu gali būti Amalvo ežeras (92 pav.). Dabar jo paviršiaus plotas nesiekia ir 200 ha o pirminio ežero paviršius siekė 4000 ha su viršum. Dabartinio ežero didžiausias gylis nesiekia 3 m, o vidutinis — 1 m. Pirminio ežero šie duomenys didesni: jo didžiausias gylis turėjo būti ne mažesnis kaip 7 m, o vidutinis — didesnis kaip 3 m, nes durpyno didžiausias storis 7 m, o vidutinis — didesnis kaip 3 m. Aišku, kad nuogulų esama ir po durpynu.

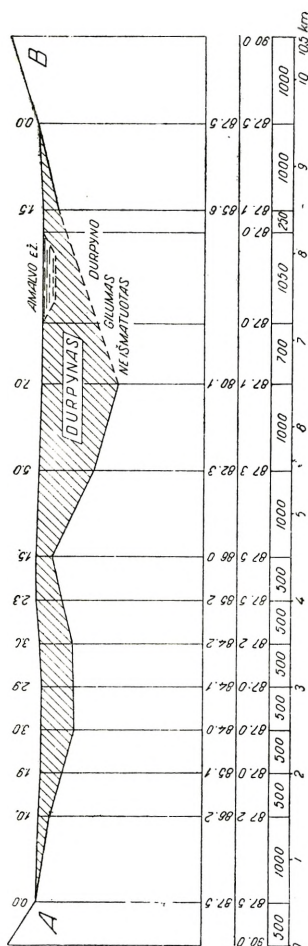


91 pav. Kai kurių ežerų dumblo nuosėdų santykis su vandens mase (pagal Stalmakovą)

1. BENDROSIOS ŽINIOS

Dumblas susidaro iš įvairių nuosėdų, kurios savo ruožtu gali būti sudarytos iš autotochtoninių komponentų, t. y. atsirandančių pačiame ežere ar iš paties ežero, bangoms ardant krantus (abrazija), druskoms išsiskiriant iš tirpalo, nugrimzdus augalinėms liekanoms ar gyvulių lavonams, arba iš alochtoninių komponentų, t. y. į ežerą intakų ar vėjo atneštų (įvairios mineralinės ir organinės medžiagos, dulkės, lapai ir kt.).

Ežere medžiagų dalelės, pakliuvusios į ežero vandens masę iš šalies arba atsiradusios pačiame ežere, bematant būna veikiamos dinaminių, cheminių ir biologinių procesų. Bendras procesų, vykstančių ežere, veikimas nenutrūksta ir po to, kai dalelės nugula ant dugno, jis trunka gana ilgai, ir dėl to dug-



92 pav. Išilginis Amalvo pilių durpyno profilis

ninių nuogulų sudėtis bei savumai griežtai skiriasi nuo dalelių pirminių savumų.

Kietų dalelių, šiokių ar tokiu būdu į ežerą pakliuvusių, nusėdimo, arba sedimentacijos, ant dugno greitis priklauso:

1) nuo dalelių dydžio bei tankio ir nuo vandens savumų (tankio klampumo);

2) nuo vandens judesių (srovių, sąmaišos).

Dalelių kritimo greitis v ramiam vandenyje gali būti išskaičiuotas iš Stokso formulės:

$$v = \frac{2}{9} g r^2 \frac{\rho_1 - \rho_2}{\eta}, \quad (52)$$

kur r — dalelės (laikomos rutuliu) spindulys,

ρ_1 — dalelės tankis,

ρ_2 — vandens tankis,

η — klampumo koeficientas,

g — svorio jėgos pagreitis.

Vandens klampumas η , kaip ir tankis ρ , priklauso nuo vandens temperatūros. Tą priklausomybę pavaizduoja 28 lentelė.

Raidė g lentelėje reiškia gramus.

Lentelėje η padaugintas iš 10^5 . Iš šio skaičiaus sužymėtus skaičius padalijus, būtų gautos vis mažesnės ir mažesnės trup-

menos. Tai reiškia, kad temperatūros reikšmėms didėjant, klampumas mažėja.

28 lentelė

Vandens klampumo η priklausomybė nuo temperatūros

$t^{\circ}\text{C}$	0	5	10	15	20	25	30
$\eta \cdot 10^5 \text{ (g/cm} \cdot \text{sek)}$	1797	1518	1307	1140	1005	895	803

18°C vanduo vadinamas kambario temperatūros vandeniu. Tokio vandens $\eta \cdot 10^5 = 1\,050$.

Paprastai ežeruose suspensijų diametras nepraneša 0,1 mm (neimant dėmesin stambių organinių liekanų). Orientaciniais sumetimais skaičiuojant, q_1 laikomas lygiu 2,65 (kvarco tankis). Juo dalelės tankis mažesnis, tuo mažiau reikšmės sėdant turi jos dydžiai.

Čia duodama lentelė, kurioje sužymėti dalelių nusėdimo greičiai (pagal Stoksą; žr. 29 lentelę).

Dalelės, kurių $d \leq 0,001$ mm, daugelyje ežerų sudaro iki 50% visų dugninių nuogulų. Joms nusėsti (pagal Stokso dėsnį) reiktų daug laiko.

29 lentelė

Dalelių nusėdimo greičiai v
(pagal Stoksą); d — dalelių diametras

d mm	v mm/sek	Laikas, reikalingas, kad dalelė nusėstų 1 m
10,0	950	1,05 sek.
1,0	85	11,8 sek.
0,1	7—9	vidutiniškai 2 min. 23 sek.
0,01	0,14	maždaug 2 val. (119 min. 5 sek.)
0,001	0,0015	maždaug 199 val. (daugiau kaip 8 paras)
0,0001	0,000014	maždaug 700 parų

Daug reikšmės suspensijų režimui turi vandens judėjimas. Turbulentinė sąmaiša — pagrindinis, o dažnai net lemiamasis šio reiškinio veiksnys. Pagal V. Šmidto turbulentinės sąmaišos formulę pernešamų per laiko vienetą pro horizontalaus paviršiaus ploto vienetą dalelių kiekis $f(s)$ yra lygus $A \frac{ds}{dz}$, t. y.

$$f(s) = A \frac{ds}{dz},$$

kur A — masių apykaitos koeficientas, o $\frac{ds}{dz}$ — dalelių pagal vertikale pasiskirstymo gradientas.

Dalelės, sėdantijs pagal Stokso dėsnį, vandenims maišantis, būna sulaikomos ir net nuo dugno pakeliamos. O maišymosi intensyvumas priklauso nuo vėjo greičio, dubens morfologinių savumų ir ežero vandens susisluoksniavimo pagal tankį. O to ar kito stambumo dalelių vandens masėje suspendavimas priklauso nuo masių apykaitos koeficiento A dydžio (kaip žinoma, ežeruose nuo 0 iki 10). Praktiškai imant, dalelės, kurių diametras siekia 0,2—0,02 mm esant $A < 10$, beveik nesuspenduojamos, o dalelės, kurių diametras mažesnis už 0,002 mm, nenusėda, esant $A > 0,1$.

Negiliuose ežeruose, ypačiai, jei jų paviršiaus plotas didelis, sąmaiša dažnai sutrikdo dumblių susisluoksniavimą, drumsdama vandenį.

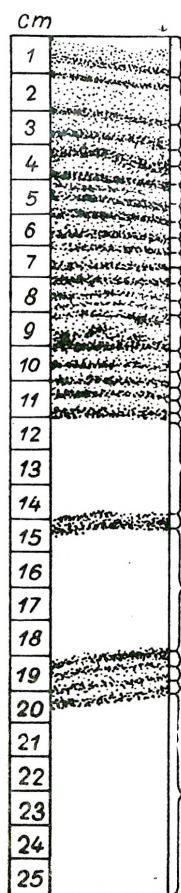
Nors duomenų, surinktų stebint dumblo dugne kaupimosi intensyvumą, yra nedaug, vis dėlto iš jų galima nustatyti, kad tas intensyvumas nevienodas ir to nevienodumo ribos gana plačios — nuo kelių mm ligi kelių cm per mėnesį. Ežere Bieloje (Kosinas, palei Maskvą) per metus visokių medžiagų nusėdavo 265 mm storio sluoksnis. Atkreiptinas dėmesys dar į šį faktą. Paprastai stebimas tik kuris nors plotelis, kaip intensyviai jis uždumblėja. Bet į tą plotelį gali dumbblas būti atneštas judančio vandens iš kitų ežero dugno plotelių: vanduo nuo vienur gali nunešti, o kitur užnešti. Tai bendro dugne dumblo prieauglio sluoksnis gali būti plonesnis negu stebimame plotelyje.

Dumblių kaupimasis metų būvyje laikosi tam tikros eigos. Daugiausia susikaupia pilkai žalsvo dumblo rudenį, kai ima mirti pagrindinė vandeninių organizmų masė, ir pavasarį, kai padidėja vandens pritekėjimas. Žiemą nusėda plonas sluoksnis juodo dumblo; vasarą nusėda storesnis negu žiemą, taip pat daugiausia juodo dumblo sluoksnis. Dumblo spalva priklauso nuo to, kiek deguonies patenka į priedugninius vandens sluoksnius. Jei deguonies trūksta šiuose sluoksniuose, žiemą ar vasarą, tai ima rasti sieros junginių, kurie dumblą padaro tamsų, net juodą.

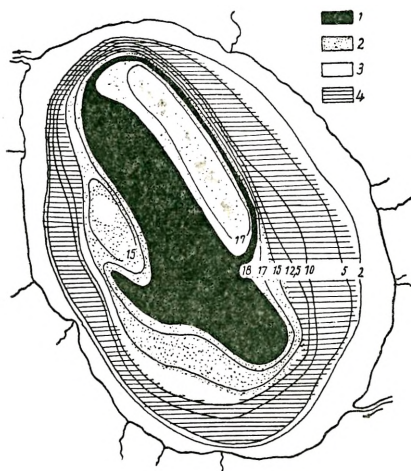
Jei ežeras pratekamas, tai daugiausia ant jo dugno nuosėdų nusėda per potvynius ir poplūdžius; šiuo atveju daugiausia nusėda mineralinių dalelių.

Tyrinėjant nuogulas ežero dugne, pastebėta, kad tų nuogulų sluoksniuojamasi ne vien sezonais, bet ir pamečiui. Įvairių metų ir periodų nuosėdų sluoksnių storis įvairus, įvairi sudėtis ir spalva. Ežero nuogulų metinio susisluoksniavimo tyrinėjimai leidžia nustatyti ežero amžių ir klimatinės bei hidrologinės sąlygas tų periodų, kurių būvyje tie nuogulų sluoksniai susidarė (93 pav.).

Į ežero pakraščius nuogulos būna stambesnės, į ežero vidurį — smulkesnės. Viršutiniai dumblo sluoksniai būna labai vandeningi (vandens juose būna iki 80—



93 pav. Pamatiniai nuosėdų sluoksniai Ciuricho ežere



94 pav. Ež. Pereslavskoje dumblai ir gruntai:

1 — juodasis dumblas; 2 — gelsvai žalias; 3 — smėlis; 4 — kriauklainis

95%). Ežero gelmėse paprastai vyrauja autochtoninės nuogulos (94 pav.).

Čia duota tik aplama dumblo kaupimosi schema. Eilėje ežerų tas kaupimasis nuo išdėstytos schemos skiriasi, destis, kokia geologinė ežero aplinkos sruktūra, kokia dubens forma ir koks dydis, kokie srovių ir vandenų sąmaišos ežere ypatumai.

Iš 91 paveikslėlio matyti, kad laiko būvyje ežeruose, ypačiai tuose, kur turtingi įvairių organinių medžiagų, prisirenka tiek

nuogulų, jog jos pripildo beveik visą pirminį dubenį. Ilmenio ežere jau pripildyta 90 % pirminio dubenio, o ežero Pijavočnoje (Kalinino srityje) nuogulų sluoksnis 10 kartų storesnis už dabartinį ežero gylį. Beveik pilnas ir Amalvo ežero pirminis dubuo.

Dubeniui nuogulų prisipildant, jo dugnas darosi lygesnis, gyliai darosi mažesni, pakraštinės ir atvirosios ežero dalių režimas suvienodėja. Ežerui pasidarius seklesniam, pakrantiniai augalai vis toliau ir toliau veržiasi į ežerą ir profundalinės srities dumblus ima kloti seklių vandenų tipo dumblai.

Pastebėtina, kad vienuose ežeruose susikaupia beveik išskirtinai organinės kilmės dumblai, kituose — mineralinės. Organinių ir mineralinių komponentų santykis dumble priklauso nuo regiono, kuriame yra ežeras, geografinės padėties ir nuo sąlygų vystytis ežere organiniam pasauliui.

Mineralinių dalių kiekis sužinomas dumblo pavyzdžius kaitinant. Organiniai dumblo komponentai sudega, liekasi tik pelenai — mineraliniai komponentai. Gilių ežerų, kurių vanduo skaidrus ir kuriuose organiškasis pasaulis negausus (tai vadinamieji oligotrofiniai-mažamaisčiai ežerai), nuosėdos būna labai peleningos. Pavyzdžiui, Teleckoje, Onegos ir kt. ežeruose nuosėdų peleningumas siekia ligi 85—95 %.

Daugelyje ežerų, ypačiai su nemaža akvatorija, audros metu sukeliamos didelės bangos, kurios išmeta į krantą įvairias organines liekanas. Iš tų liekanų kartais susidaro krante net pylimai lyg iš tūbo.

Organinės kilmės dumblui kauptis patogiausios sąlygos negiliuose (2—10 m gylio) vidutinio klimato ežeruose, silpnai pratekamuose arba visai nepratekamuose, apsaugotuose nuo vėjų. Vandenų sąmaiša tokiuose ežeruose būna labai silpna, taigi į vandens masę patenka labai mažai deguonies, todėl ir susidariusių organinių medžiagų skaidymasis (nykimas) būna labai silpnas. Šitų ežerų vandens masė vasarą gana įšildoma, dėl to privysta daug įvairių organizmų (tai vadinamieji eutrofiniai — daugiamaisčiai ežerai). Į vasaros pabaigą, o ypačiai rudenį tie organizmai miršta ir grimzta į dugną, papildydami vasarą iš organizmų kūnų ir ekskrementų susidariusį dumblo sluoksnį. Ežero pakraščiuose susikaupusį dumblo sluoksnį tuo tarpu papildo makrofitai.

Dugninių nuosėdų sudėtį ir sandarą žymiai pakeičia bentoso organizmų poveikis, o taip pat bakterijų veikla viršuti-

niuose dumblo sluoksniuose. Bentoso organizmai dumblą smulkina, iš dalies perdirba ir daro tamsesnį, praleisdami jį pro savo kūną ir tinkamas jo dalis asimiliuodami. Tie organizmai mirę dugnines nuogulas papildo savo lavonais. Bakterijos dar labiau paveikia dumblą chemiškai. Puvimo bakterijos ardo baltymus, geležies bakterijos prisideda prie geležies koncentravimosi, prie geležies rūdų susikaupimo. Ypačiai intensyvi bakterijų veikla viršutiniame dumblo sluoksnyje (maždaug 20 cm storio oligotrofiniuose ežeruose ir ligi 60 cm eutrofiniuose). Dumblo gyliui didėjant, bakterijų veikla mažėja.

Sapropeliai kai kuriuose veikaluose vadinami gitija. Gitija (gyttja) — švedišką žodis ir reiškia tiesiog dumblą. Tai šis žodis sapropeliams vadinti ne visai tinka, nes sapropeliai nėra dumblas apskritai, o tam tikra dumblo rūšis. Sapropelis — tai bestruktūris organinės kilmės ežeruose besikaupiąs dumblas, turintis mažai mineralinių priemaišų. Taigi sapropeliuose esama daug organinių medžiagų, sudėtų daugiausia iš žemesniųjų gyvūnų ir augalų liekanų su didesne ar mažesne mineralinių dalelių ir aukštesniųjų augalų liekanų priemaiša. Mikroorganizmų veikiamos ir gaudamos mažai deguonies, nuogulos, sudarančios sapropelius, pavirsta lyg drebučiais (gelium), — minkšta ir riebia masė. Tat lengvai konstatuojama pirštais. Pati svarbioji tos masės sudėtinė dalis — detritas. Tai amorfinė organinė masė, turtinga riebalų, baltymų ir į vašką panašių medžiagų. Smulkusis detritas daugiausia susidaro iš mirusių žemesniųjų augalų ir gyvūnų, o stambusis detritas — iš negyvų aukštesniųjų augalų. Smulkiojo detrito vyravimas duoda sapropeliui geltoną ar gelsvai arba rusvai žalią atspalvį; stambiojo detrito vyravimas duoda rudą ar tamsų atspalvį. Smulkusis detritas nusėda giliesiose ežero dugno dalyse, stambusis — sekliosiose, apsaugotose nuo vėjo, arba vietose, kur gyiliai staigiai keičia vienas kitą, kur — čia seklu, čia gilu.

Į viršutinio sluoksnio sapropelio sudėtį įeina ligi 95 % vandens, ir sapropelis atrodo, kaip drebučių masė. 8—10 m gylyje sapropelis darosi tankesnis, toliau darosi dar tankesnis, bet peiliu įpiaunamas. Spalva, gyliui didėjant, kinta: iš rudos darosi gelsvai žalia.

Ilgainiui sapropeliai gilesniuosiuose sluoksniuose mineralizuojasi. Organinės medžiagos, prisidedant bakterijų veiklai, išpūva. Susidaro sapropelitai — nuogulos, kurios turi

daugiau mineralinių medžiagų. Mineralines dumblių daleles papildo gyvybinės organizmų veiklos produktai (diatomėjų geldeklės, moliuskų klintiniai kiaukutai ir kt.), o šiaip įvairių elementų pristato intakai. Atsižvelgiant į tų ar kitų elementų vyravimą mineralinėje dalyje, skiriami šie sapropelitai:

- 1) molingieji, smulkios struktūros;
- 2) titnagžeminiai: a) organogeniniai, dažnai su titnaginių dublių liekanomis; b) neorganiniai — su kvarcinio smėlio priemaiša;
- 3) klintiniai — ežeruose, kurių vanduo kietas; tokie sapropelitai gali virsti kreida;
- 4) geležingi, turį didelį kiekį geležies oksido. Šiaurėje prie geležingų kongrecijų susidarymo žymia dalimi prisideda geležies bakterijos.

Daug sapropelių susidaro eutrofiniuose miškų juostos ežeruose. Šie ežerai nedidelio arba vidutinio gilumo, jų vandens aktyvioji reakcija — silpna šarminė. Sapropelių sluoksnio storis siekia iki 30 m (žr. 95 pav.).

Iš sapropelių nuogulų susidarę biolitai — organinės kilmės dariniai. Iš kai kurių sapropelių gaunami produktai, kurie paprastai gaunami iš naftos. Destiliacijos būdu galima iš jų gauti mašininių tepalų, benzino, kerosino (žibalo). Be to, sapropeliai gali būti panaudojami tręšti dirvoms.

Durpiniai, arba humusiniai, dumbalai (literatūroje kai kada vadinami dju, iš švediško žodžio dy) taip pat susidaro miškų zonos ežeruose, dažniausiai distrofiniuose, t. y. bemaščiuose. Šito tipo ežerai telkšo labai užpelkėjusiose lygumose ir būna maitinami nedidelių upių ir upelių arba vandeniu, į ežerą patenkančiu iš pelkių. Kietų dalelių į tokius ežerus beveik neatnešama. Vanduo mažai turi mineralinių medžiagų, užtat turi labai daug organinių junginių, sudarytų iš gana patvarių humusinių medžiagų. Vandens reakcija rūgšti. Organizmų ežere nedaug, nes humusiniai junginiai sudaro nepalankias jiems vystytis sąlygas. Dumbalai daugiausia susidaro iš priekrantinių augalų liekanų, — samanų, lapų, šakelių. Dumblių struktūra stambesnė, dribsnių pavidalo, durpinga. Peleningumas mažas. Jei ežero krantai atviri, neužpelkėję, tai į jį patenka mineralinių medžiagų daugiau, ir jo dumblas būna mineralingesnis.

Geležies rūdos, susidariusios ežeruose, turi pramoninės reikšmės. Jų klodų esama Tarybų Sąjungos šiaurės vakarų regionuose. Pavyzdžiui, Karelijoje esama daugiau kaip 150 rūdinių ežerų. Šioms rūdoms eksploatuoti dar Petro I laikais buvo pastatytos gamyklos Petrozavodske ir Povence. Rūdynai buvo eksploatuojami ir Lietuvoje.

Karbonatinės nuosėdos ežeruose susidaro dėl cheminės ar biologinės angliarūgštės kalcio sedimentacijos. Cheminė sedimentacija vyksta, kai vanduo būna prisisotinęs junginiu CaCO_3 ir kai būna gana aukšta temperatūra, kurioje silpniau tirpsta kalcio druskos. Daugelis vandeninių augalų ir zoobentosos atstovų kalcį nusodina biologiškai.

Iš karbonatinių nuosėdų ežeruose daugiau paplitę:

1) kiaukutų karbonatas, sudėtas iš vandeninių organizmų kiaukutų liekanų. Jo pasitaiko ištisi plotai gryno, o neretai jis būna prisimaišęs prie smėlingų ar dumblingų nuogulų;

2) žieviniai ir rutuliniai dariniai — tankios žievinės ataugos ant kietų objektų priekrantinėje zonoje: ant akmenų, uolų, augalų kamienų; dažnai šios antaugos turi nemažą kiekį organinių medžiagų;

3) smulkiagrūdis kalcis visai vadinamas, atsižvelgiant į jo cheminę sudėtį ir į nugulimo ypatumus: kreida — beveik grynas kalcis, ežerų mergelis — klintys, susimaišę su molio, almas — klintys, nugulę atskiruose dugno plotuose, dažnai prie šaltinių angų.

Mažai mineralinguose ežeruose karbonatinės nuosėdos dažniausiai susikaupia priekrantinėje ežero zonoje, nes ten CaCO_3 sedimentaciją paremia gana aukšta temperatūra; be to, ten esama vandeninių augalų ir šiaip organizmų, kurie kalcį nusodina.

Didžiausias kreidos ir mergelio kiekis nugula priekrantinėje zonoje, atitinkančioje epilimnioną, priekrantinės želmės juostoje. Kiaukutų zona paprastai aptinkama perėjime iš litoralio į profundalį: ši zona maždaug atitinka metalimnioną. Laiko būvyje kiaukutai, vandeniui mechaniškai veikiant ir CaCO_3 juose tirpstant, virsta smulkiagrūdžiais kalcio karbonatais. Mažiausia kalcio karbonatų nugula smėlinguose plotuose ir profunda-lio dumbluose.

Ukinės reikšmės daugiausia turi mergelis. Jo susikaupia drėgnosios zonos ežeruose per metus vidutiniškai 0,3—0,6 mm storio

sluoksnis. Mergelio nuogulų sluoksnio storis kai kada būna gana žymus; pvz., Ciuricho ežere siekia iki 9 m, o Ontario ežere — net iki 15 m.

Mažuose ežeruose, kadangi juose vanduo labiau įšyla, kalcio nugula daugiau negu dideliuose. Mergeliai susidaro, kai ežero vanduo kietas. Minkšto vandens ežeruose (Ladogos, Onegos, Baikalo) mergelis ir ežerų kreida, praktiškai imant, nesusidaro.

2. TERMINIS DUMBLO REŽIMAS

Dumblo terminis režimas yra susijęs su visos vandens masės terminiu režimu. Dumble, kaip ir vandenyje, pastebima tiesioginė temperatūrų stratifikacija ir atvirkštinė; įsigali tarpais ir homotermija. Terminiai procesai dumble vyksta lėčiau negu vandenyje ir terminiai periodai prasideda taip pat vėliau. Bet konkrečių žinių apie šitai visa turima nedaug. Smulkiai metinį dumblo terminį režimą tyrinėjo Tarybų Sąjungoje Rosolimas Kosino limnologinėje stotyje 1931 m. ir Berdžas JAV ežeruose. Pasak Rosolimo, metiniam dumblo terminio režimo ciklui būdinga štai kas: pavasarį viršutinis dumblo sluoksnis įšyla; tam tikrame dumblo gylyje dar laikosi žiemą susidaręs temperatūros minimumas; vasarą šiluma, gauta viršutinio dumblo sluoksnio iš vandens, prasiskverbia į gilesnius dumblo sluoksnius, ir dumble vis vyrauja tiesioginė temperatūrinė stratifikacija; rudeninei cirkuliacijai besivystant, dumblas ima atiduoti šilumą vandeniui; žiemą šilumos atidavimas suintensyvėja, ir dumble susidaro atvirkštinė temperatūrinė stratifikacija.

Vykstant sudėtingiems biocheminiams procesams, daug organinių medžiagų turinčiuose dumbluose atsiranda dujų, kurios kyla burbulais nuo dugno į viršų. Didelę jų dalį sudaro metanas (75—97%), o taip pat vandenilis (5—15%) ir anglies dioksidas (iki 3%).

Dujų atsiradimas yra susijęs su dumblo temperatūra, o taip pat su priedugninių vandens sluoksnių temperatūra. Labai daug dujų iš dumblo išsiskiria vasaros pabaigoje ir rudenį. Dujos kyla iš viršutinio dumblo sluoksnio (ligi 1 m storio). Ežeruose, kurių vandens reakcija artima neutraliajai (pH 6,4—7,6), dujos išsiskiria intensyviau, negu kituose; išsiskiria drauge ir nemažas kiekis asimiliuojamo azoto. Šito proceso vystymąsi reikšmingai sąlygoja bakterijų veikla.

3. GEOGRAFINIS EŽERINIŲ NUOSĖDŲ ZONIŠKUMAS

Ežerinių nuosėdų sluoksnio storumas ir jų sudėtis yra glaudžiai susiję su hidrologiniu ežero režimu ir, savaime suprantama, priklauso nuo geografinio zoniškumo.

V. V. Alabiševs (1932 m.) sudarė ežerinių nuosėdų zonų žemėlapius, jų tarpe scheminį žemės rutulio ežerinių nuosėdų žemėlapi ir detalesnį Europinės Tarybų Sąjungos dalies ežerinių nuosėdų žemėlapi.

Žemės rutulyje išsiskiria dvi ežerinių nuosėdų zonos:

1) gėlių vandenių nuogulų zona;

2) sūriųjų vandenių sapropelitų ir mineralinių purvų zona.

Pastebimi dar du azonaliniai ežerinių nuogulų regionai:

1) kalnų regionas su gėlių vandenių nuosėdomis;

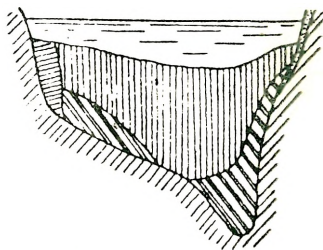
2) regionai sūriųjų vandenių, susijusių su geologinėmis aplinkos sąlygomis arba jūros poveikiu.

Pietinė vidutinio klimato gėlių vandenių nuosėdų zonos riba, apskritai imant, sutampa su šiaurine stepių riba. Tarybų Sąjungoje ji eina nuo Dniestro aukštupio ir Pietų Bugo ligi Kuibiševo, toliau ligi Ufos, apsuka Pietų Uralą, paskui eina beveik tiesiai į rytus ligi Baikalo ir nuo Angaros aukštupio į Mongoliją ir Kiniją. Šitai zonai priklauso: Vakarų Europa, Šiaurės Amerika (išskyrus centrinį baseiną), Šiaurės Kinija. Zona savo ruožtu susiskirsto į pozonius:

a) tundros pozonį, kuriame esama gėlių ežerų su nestoru (ligi 0,5 m) sapropelinių nuosėdų sluoksniu;

b) jaurinį taigos pozonį su storu (ligi 30 m) gėlių vandenių sapropelinių nuogulų sluoksniu (95 pav.).

Antrąją, t. y. sūriųjų vandenių nuogulų zoną, sudaro regionai tropinėse ir joms artimose platumose. Jai priklauso Pietų Europa, Pietų Azija, Šiaurės Rytų Australija, Ekvatorinė Afrika, be Somalijos pusiasalio, Florida, Vidurinė Amerika, beveik visa Pietų Amerika (išskyrus Brazilijos plynaukštę).



95 pav. Dumblo nuosėdos Galičiaus ež. (pagal Šturmą):

1 — durpinis dumblas; 2 — gelsvai žalias sapropelis; 3 — tamsiai rudas sapropelis; 4 — smėlis; 5 — molis; 6 — vanduo

Azonalinės gėlųjų vandenų nuogulos paplitusios stambiose kalnuotose srityse. Prie jų galima priskirti ir nuogulas ežerų, kurių vanduo labai gėlinamas sutekančių vandenų, pvz., Balchašo ežeras. Tarybų Sąjungoje sūriųjų vandenų nuogulos aptinkamos Staros Rusos, Solvičegodsko rajonuose, tarp Pinegos ir Kulojaus upių, Centrinėje Jakutijos žemumoje, Minusinsko duburyje. Prie jų priskirtinos ir pajūrinių limanų nuosėdos.

Karelijoje ir Poliesėje Alabiševas išskyrė taip pat ir ežerinių geležies rūdų regionus.

D. V. Nalivkinas žemės rutulio paviršių nuosėdų atžvilgiu skaido į dvi formacijas: jūros ir žemyno. Formacijos skaidomos į nimijas, nimijos — į servijas, servijos — į facijas. Taigi servijos yra facijų kompleksai, nimijos — servijų, formacijos — nimijų. Formacija yra sudėtingiausia, o facija — paprasčiausia. Facijos — tai nuosėdos, kurios visoje savo ištisybėje turi vienodą litologinę sudėtį ir kuriose randama vienoda flora ir fauna. Ežerus Nalivkinas laiko servijomis: pajūrinių ežerų, gėlųjų ežerų. Aprašinėdamas šias servijas, Nalivkinas labai atsižvelgia į ežerų dubenų genezinę klasifikaciją ir ežerų tipų zoniškumą.

4. TVENKINIŲ UŽDUMBLĖJIMAS

Tvenkinių uždumblėjimas sudaro labai svarbią hidrotechninę problemą, nors pilno uždumblėjimo ar užnešimo formulė labai paprasta, būtent:

$$T = \frac{V}{V_1 + V_2 - V_3} \quad (53)$$

Formulėje T — metų skaičius, V — tvenkinio tūris m^3 , V_1 — tūris upės per metus suneštų sąnašų, V_2 — tūris sąnašų nuo krantų, V_3 — tūris iš tvenkinio išnešamų sąnašų. Visi tūriai matuojami kubiniais metrais.

Išidėmėtinas dar santykis $V : V_a$, kur V — ežero tūris, o V_a — tūris autochtoninių ir alochtoninių sąnašų, suneštų į ežerą per metus.

Tvenkinių esama ežerinio ir upinio tipo. Abiejų tipų tvenkiniuose kasmet nusėda tam tikras kiekis kietų sąnašų, suneštų upių ar susijusių su kranto irimu ir biologiniais procesais. Ir vienur, ir kitur turi reikšmės tvenkinio dubens pavidalas, jo dydžiai, vandens tekėjimo greitis.

Ežerinio tipo tvenkinių visų pirma uždumblėja viršutinė dalis. Čia sumažėjus vandens tekėjimo greičiui nusėda stambios sąnašos išplovų kūgio pavidalu, panašiu į deltą. Smulkios suspensijos vandens tekėjimo pranešamos pro visą tvenkinį, bet jei tekėjimas nelabai sraunus, tai ir jos nugula giluminėje tvenkinio dalyje.

Upinio tipo tvenkinyje sąnašos nugula arba lygiu sluoksniu, arba pavidalu gūbrio, pamažu slenkančiu užtvankos linkui. Tvenkinio vandens paviršiaus svyravimai verčia gūbrį sparčiau slinkti. Tvenkiniui dumblėjant, dugno nelygumai dingsta, ir tvenkinio dubuo pasidaro panašus į lovį. Uždumblėjimo intensyvumas ilgainiui sumažėja, nes vanduo, dėl uždumblėjimo turėdamas mažiau vietos, ima srauniau tekėti, taigi ir suspensijas iš tvenkinio sparčiau šalinti.

Mažesnės dalelės lėčiau nusėda (žr. 29 lent.), bet sparčiau išnešamos negu didesnės, taigi ir sunkesnės. Dugninės nuogulos pagal stambumą skirstomos į tokias grupes:

	<i>d</i> mm
molis	<0,001
drumzlės	0,001—0,01
dulkės	0,01—0,1
smėlis	0,1—1,0
žvirgždas	1,0—10,0
gargždas	10—100
rieduliai	100—1000
luistai	>1000

Tvenkinių uždumblėjimui turi reikšmės ir autochtoniniai reiškiniai.

Visų veiksnių dėka kai kurie tvenkiniai uždumblėja labai sparčiai. Pavyzdžiui, A. V. Ogijevskio duomenimis, tvenkinys Ak-Su Dagestane su 12 m aukščio užtvanka buvo užnešta per trejus metus, o Miuso upės tvenkinio per penkerius metus (1926—1931) buvo užnešta 85% (tvenkinio vandens lūris 1 350 000 m³). Tačiau ne visi tvenkiniai taip sparčiai užnešami. Pvz., Karlovo tvenkinyje Volčjos upėje, turinčio tokį pat baseino plotą, kaip ir minėtas Miuso upės tvenkinys, užnešama per metus tik 0,1%.

Kova su tvenkinių uždumblėjimu vykdoma dviem kryptim: 1) stengiamasi sumažinti eroziją baseine ir sąnašų kiekį iš jo; 2) stengiamasi, kad kuo mažiausiai įvairių dalelių nusėstų, o kad būtų jų kuo daugiausia iš tvenkinio išnešta.

Prie pirmosios grupės priemonių priklauso: baseine ir pakrantinėje juostoje esančių išplaunamų vietų apželdinimas mišku ir jų velėnavimas, tose vietose jau augančių miškų masyvų tausojimas, griovių sutvirtinimas, šlaituose terasių darymas, stengimasis, kad kuo mažiausiai tvenkinius paveiktų liūčių vandenys. O prie antrosios grupės priemonių priklauso: poplūdinių vandenų nuleidimas iš upės vagos tam tikru kanalu, tvenkinio pripildymas derivaciniais kanalais, viršutinėje tvenkinio dalyje, arba gale, nedidelių užtvankų arba skersinių dugninių galerijų įrengimas, kad nuosėdos ten nusėstų, nuosėdoms papildomosios erdvės tvenkinyje sudarymas. Tvenkinys kai kur praplaunamas, nuleidžiant vandenį pro tam tikras užtvankos apačioje vietas,— atvertas angas.

*

Dugninių nuogulų tyrinėjimas leidžia:

1) nustatyti žaliavų (durpių, sapropelio, druskos, geležies rūdos ir kt.) kiekį ir jų kaupimosi intensyvumą;

2) nustatyti vandens, šilumos ir druskų mainų ežero vandens masės su dugnu laipsnį ir ištirti tų mainų įtaką organizmų gyvybinei veiklai;

3) nustatyti ežero vystymosi ypatumus ir dugninių nuogulų kaupimosi intensyvumo laipsnį; tai labai reikalinga, sprendžiant klausimus, susijusius su ežerų ir tvenkinių uždumblėjimu;

4) ištirinėti dugninės floros ir faunos vystymosi sąlygas, tame skaičiuje ir žuvų pašarinę bazę.

Šių skyrių baigsime trumpa Lietuvos TSR ežerų nuosėdų apžvalga.

5. LIETUVOS TSR EŽERŲ NUOSĖDOS

Kaip kitų, taip ir Lietuvos ežerų nuosėdos skirstomos į alochtonines, t. y. iš kitur atneštas, ir autochtonines, t. y. pačiame ežere susidariusias. Pirmosiose ežerų vystymosi stadijose vyravo alochtoninės, atneštinės nuosėdos. Artėjant ežerui prie užžėlimo, ar uždurpėjimo, ir pačio užžėlimo metu ima vyrėti autochtoninės nuosėdos, o naujų alochtoninių nuosėdų kiekis sumažėja, o kartais pasidaro net visai nežymus. Pavyzdžiui, iš nuleistojo Biržulio ežero dugne padarytų gręžinių matyti, kad ten buvo susikaupęs ežerinių nuosėdų 9—10 metrų storio sluoksnis, iš kurių 3—4 metrai yra susidarę vėlesnėje ežero vysty-

mosi stadijoje ir susidarę beveik perdėm iš autochtoninių organinių medžiagų. Einant gilyn, šių organinių medžiagų kiekis mažėja, o smėlio ir molio kiekis palaipsniui didėja. Karbonatinių medžiagų esama mažiau tik viršutiniuose nuosėdų sluoksniuose. Giliau karbonatų kiekis išsilaiko beveik vienodas per visą ežerinių nuosėdų storį.

Savaime aišku, kad daugiausia sąnašų sunėša vanduo, į ežerą įtekėdamas upėmis, upeliais, grioviais. Siek tiek prineša ir vėjas.

Ir vanduo, ir vėjas sąnašas ima iš aplinkos. Taigi sąnašų pobūdis daugiausia priklauso nuo aplinkos litologijos.

Autochtoninės nuosėdos skirstomos į neorganines ir organines.

Neorganinės nuosėdos susidaro iš ištirpusių vandenyje alochtoninių medžiagų. Neorganinės autochtoninės nuosėdos daugiausia yra susidariusios iš karbonatų (karbonatinių tufų). Be karbonatų, pasitaiko nedideli kiekiai geležies kongrecijų (limonito).

Karbonatų iškritimas Lietuvos TSR ežeruose yra sąlygojamas vandens temperatūros ir vandenyje ištirpusių karbonatų kiekio. Karbonatų iškritimas ežere vyksta tose vietose, kur būna aukštesnė temperatūra, o aukštesnė vandens temperatūra paprastai būna seklesnėse ežero vietose. Kaip tik dėl šios priežasties didžiausi karbonatinių tufų kiekiai aptinkami litoralinėje zonoje ir įlankose.

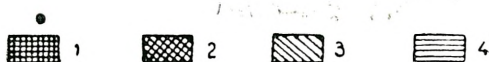
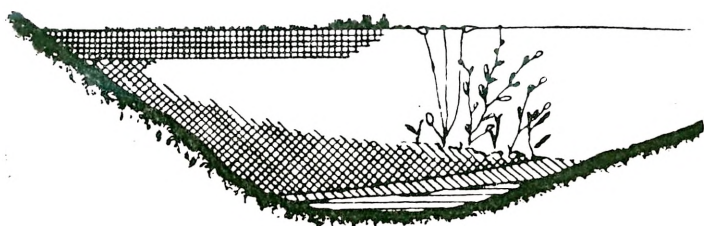
Karbonatiniai tufai aptinkami daugumoje Lietuvos TSR ežerų. Vienų jų kiekis yra gana nežymus ir jie figūruoja čia kaip priemaiša, dažniausiai gilesniuose nuosėdų sluoksniuose; kitur, pavyzdžiui, Metelio ežero vakarinėje pakrantėje, Kretonių, Stirnių, Dubingių ir visos eilės kitų ežerų pakrantėse, jie sudaro ištisus klodus ir turi verslinės reikšmės.

Didžiausius autochtoninių medžiagų kiekius sudaro organinės medžiagos (durpės, sapropeliai). Šioms medžiagoms susidaryti daug reikšmės turi ežerų flora ir fauna. Dabartiniu metu šios nuosėdos yra labiausiai išplitusios ir dengia daugiausia centrinę ežero dugno dalį.

6. EŽERŲ UŽŽĖLIMAS

Ežerų užžėlimui taip pat didelę reikšmę turi jo matmenys, ypačiai gylis. Gražų pavyzdį teko matyti palei Liudvinavą

(Kapsuko raj.). Palei miestelį yra greta vienas kito du nedideli ežerai. Vienas vadinamas Liudvinavo ežeru, o kitas — Paežerėlių. Abu juodu neužžėlę. Augalų yra tik pakraščiuose, atabrade. Bet visai netoli, irgi prie pat miestelio esama eksploatuojamo durpynėlio. Kitaip sakant, esama užžėlusio ežerėlio.



96 pav. Plovai:

1 — plovo durpė; 2 — jaunas dumblas; 3 — sapropelinė durpė;
4 — sapropelitai

Kodėl gi neužžėlė jo kaimynai? — Neužžėlė todėl, kad jie buvo daug gilesni. Augalai niekaip negalėjo į ežero plotą įsiskverbti. Kaip jie skverbiasi, matėme 88 paveikslėlyje.

Pelkėtame landšafte ežerai užželia kitaip (96 pav.). Augalų dėka ežeruose susidaro plovai, kurie vis skverbiasi ir skverbiasi į ežerą tolyn ir tolyn. Susidaro 96 paveikslėlio vaizdas.

Plovai gali susidaryti tik tokiuose ežeruose, kur bangų mūša į krantą nedidelė. Paprastai plovai užslenka iš pavėjinės pusės. Tai labai ryšku Žuvinto ir Amalvo ežeruose. Patys šie ežerai kaip tik yra išsilikę pietrytiniuose Žuvinto ir Amalvo pelkių kraštuose, nes čia dominuoja vakarų ir šiaurės vakarų vėjai.

Iš paveikslėlių matyti, kad ežero dugne gali plytėti savotiškos pievos.

7. KAI KURIE LIETUVOS EŽERŲ PALEOHIDROLOGIJOS BRUOŽAI

Pagaliau reikia nors keliais žodžiais paliesti ežerų paleohidrologinio režimo vėlyvajame ledynmetyje ir poledynmetyje klausimą. Paleolimnologijos, o taip pat ir ežerų paleohidrologijos klausimai tebėra mažai tyrinėti. Neseniai šiais klausimais susidomėta ir Lietuvoje (Garunkštis, 1957, 1958; Garunkštis ir

Stanaitis, 1959). Deja, ligi šiol paleohidrologiniu požiūriu yra tirtas tik vienas kitas ežeras ir tik ežero vandens lygio, t. y. vandeningumo svyravimo, požiūriu. Pagrindiniai duomenys tuo klausimu buvo surinkti, tiriant ežerų terases morfologiškai ir senąsias ežerines nuosėdas sporų-žiedadulkių metodu. Šiais atžvilgiais geriausiai ištirti Vilkokšnio ir Kryžiuočių ežerai (Garunkštis ir Stanaitis, 1959).

Kalbant apie vandens lygio svyravimus Lietuvos ežeruose vėlyvojo ledynmečio ir poledynmečio laikotarpyje (holocene), turima omenyje nenuotakiniai, atseit neturintieji betarpiško ryšio su stambesnėmis upėmis, ežerai. Tokių ežerų vandens lygio svyravimai buvo sąlygojami klimato pakitimų. Kaip žinoma, klimatas Lietuvoje vėlyvojo ledynmečio metu ir poledynmetyje keitėsi ne vieną kartą; kito ne tik temperatūrinis režimas, bet ir kritulių kiekis ir kiti klimato elementai, turį įtakos ežerų lygio svyravimams, jo vandeningumui. Tuo klausimu jau yra rašyta (Gudelis, 1955, 1957, 1958). Tačiau reikia pabrėžti, kad be klimatinių priežasčių nenuotakinių ežerų lygio kitimui vėlyvojo ledynmečio laikotarpyje didelę reikšmę turėjo ežero dubens tūrio padidėjimai, susiję su termokarstiniais reiškiniais, kurie savo ruožtu buvo pasireiškę ne kartą. Ežero dubens tūrio staigus padidėjimas kuriam laikui pažemindavo prieš tai buvusį ežero vandens lygį. To reikia nepamiršti, kalbant apie vandens lygio svyravimus vėlyvajame ledynmetyje.

Taigi, kalbant apie ežerų lygio paleosvyravimus, reikia skirti klimatogeninį ir termokarstinį faktorius, kurių konkreti sąveika tuo ar kitu momentu kaip tik nulemdavo ežero lygio likimą. Pasibaigus termokarstiniams procesams (borealinio periodo pirmojoje pusėje), tolesnis nenuotakinių ežerų režimas buvo sąlygojamas tik klimato veiksniais.

Vėlyvajame ledynmetyje iš pradžių vandens lygis buvo aukštesnis, vėliau jis keliskart slūgo ir kai kuriuose ežeruose laikėsi 5—6 m žemiau dabartinio. Litorinos (atlantiniame) laikotarpyje vandens lygis ėmė kilti ir viršijo dabartinį 2—6 m. Subborealiniu laikotarpiu dėl žymaus atmosferinių kritulių sumažėjimo jis gerokai nuslūgo. Subatlančio pradžioje įvykęs klimato staigus padrėgnėjimas ir atšalimas sukėlė ryškią ežerų transgresiją, kurios amplitudė vietomis siekė 4—5 m (Gudelis, 1955). Istoriniais laikais ežeruose vandens lygis svyravo su nežymia tendencija slūgti.

Daug įdomių duomenų apie Lietuvos ežerų paleohidrologiją galėtų pateikti kompleksiniai ežerinių nuosėdų piūvių tyrimai. Turimi ligi šiol negausūs diatomėjų ir kitų dumblių tyrimai (Gudelis ir Kabailienė, 1958) parodė, kad, jomis remiantis, galima atkurti ežerų paleoterminį režimą, skaidrumo, mineralingumo ir kitas sąlygas. Sporų-žiedadulkinis drauge su kitais paleobotaniniais metodais gali būti sėkmingai taikomas, nagrinėjant daugelį įdomių ežero paleobiologijos klausimų, o taip pat nustatant ežero nuosėdų ir ežerinių terasių susidarymo amžių.

Paleolimnologija turi vystytis lygia greta su limnologija, nes, nepažinę ežero vystymosi dėsningumų praeityje, mes negalėsime teisingai suprasti jo dabarties ir tolesnės jų evoliucijos eigos.

EŽEROTYROS ŠAKOS

Bendroji geografija supažindina su gamta ir kultūra žemės paviršiuje apskritai, pateikia pačias bendrąsias pagrindines sąvokas, iškelia pačius bendruosius dėsnius, o regioninė geografija specialiai tiria įvairius žemės paviršiaus regionus, šalis, kraštus, sritis. Panašiai ir bendroji limnologija kalba apie ežerą tik apskritai, o regioninė domisi ne tik ežeru apskritai, bet ir įvairių regionų ežerais specialiai. Bendroji susidarė iš regioninių limnologijų, kaip tą jau įvade yra mūsų pažymėta. O šiuo metu savo ruožtu bendroji sudaro regioninei limnologijai pagrindą, foną.

Taigi turime dvi limnologijos šakas: bendrąją ir regioninę limnologiją. Pastaroji, atsižvelgiant į metodą, vadinama dar lyginamąja limnologija. Iki šiolei mūsų knygoje buvo dėstoma tik bendroji. Toliau nors šiek tiek paliesime, bendrajai orientacijai, ir regioninę.

Bendroji ir regioninė limnologija yra daugiau teorinio pobūdžio. Bet limnologija gali turėti ir taikomąjį bei praktinį pobūdį. Taigi, pagaliau, paliesime dar dvi limnologijos šakas — taikomąją ir praktinę limnologiją.

I. REGIONINĖ, ARBA LYGINAMOJI, LIMNOLOGIJA

Savaime suprantama, kad artimiausias ir mums prieinamiausias limnologijos regionas — tai Lietuvos ežerai. Mūsų uždavinys — juos ištirti. Ir tą uždavinį mes turime sėkmingai atlikti. Toliau mus domina visos Tarybų Sąjungos ežerai, o pagaliau ir viso Žemės rutulio paviršiaus. Šio nuoseklumo kaip tik laikysimės.

Stengsimės atsakyti tik į du klausimu: kiek yra regione ežerų ir kaip jie jame pasiskirstę.

1. LIETUVOS TSR EŽERAI

Berenkant Lietuvos TSR ežerų katalogui duomenis, paaiškėjo, kad Tarybų Lietuvos teritorijoje esama maždaug 4 000 ežerų. Skirstant pagal paviršiaus ploto dydį grupėmis, gaunamas toks vaizdas:

didesni kaip 1 000 ha	14 ež.
nuo 500 iki 1 000 ha	21 „
„ 200 „ 500 „	50 „
„ 100 „ 200 „	72 „
„ 20 „ 100 „	460 „
„ 1 „ 20 „	1 926 „
Iš viso:	2 543 ež.

Pridėjus maždaug 1500 smulkiųjų ežerų (bet ne smulkesnių už 0,5 ha), gaunama apvali suma — 4 000 ežerų visoje Lietuvos TSR teritorijoje. Didžiausias ežeras Drūkšių (4 500 ha), o giliausias Tauragnų (jo didžiausias gylis 60,5 m). Ežerų, kurių paviršiaus plotas didesnis negu 1000 ha, Tarybų Lietuvoje esama 14-os. Patys didieji Lietuvos TSR ežerai surašyti 30 lentelėje.

30 lentelė

Didžiausieji Lietuvos TSR ežerai

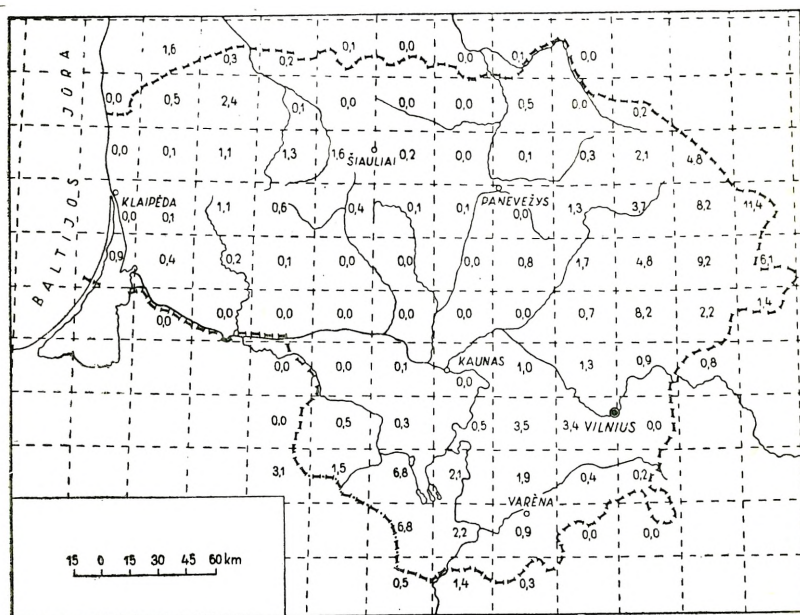
Eil. Nr.	Ežero pavadinimas	Paviršiaus plotas (ha)	Didžiausias gylis (m)
1	Drūkšių	4 500,0	32,0
2	Dysnų	2 490,0	6,0
3	Dusios	2 333,4	32,4
4	Vištyčio	1 786,9	—
5	Sartų	1 331,6	22,0
6	Avilių	1 311,5	14,0
7	Metelio	1 292,0	15,0
8	Luodžio	1 290,0	16,5
9	Platelių	1 204,6	46,0
10	Rekyvos	1 150,9	7,0
11	Alaušo	1 054,0	42,0
12	Žuvinto	1 031,9	3,4
13	Lūksto	1 017,5	—
14	Dubingių	1 015,0	—

Bendras ežerų užimamas plotas siekia 94 600 ha ir sudaro maždaug 1,5% visos Lietuvos TSR teritorijos, kuri užima 65 200 km².

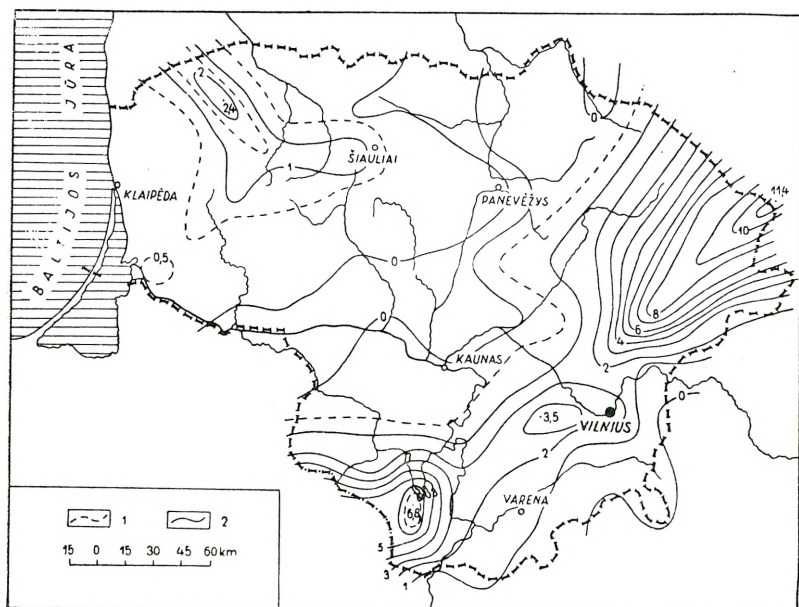
*

Tirdami geografinį ežerų pasiskirstymą Lietuvos TSR teritorijoje, V. Chomskis ir A. Stanaitis pavartojo tokius metodus: visų pirma stambaus mastelio Lietuvos žemėlapi su-skaidė trapecijomis, kurių $\Delta\varphi=15'$, o $\Delta\lambda=30'$; kiekvienai trapecijai nustatė ežeringumo koeficientą ir, gautais koeficientais remdamiesi, nubrėžė ežeringumo izolinijas (97 ir 98 pav.).

Šiais metodais nustatyta, kad Lietuvos TSR teritoriją ežeringumo mažėjimo linkme reikia skaidyti į 6 regionus: 1) į ežeringiausią Lietuvos šiaurės rytų regioną, 2) į Lietuvos pietų vakarų, arba Sūduvos, regioną, 3) į Lietuvos pietų rytų, arba Dzūkų aukštumos, regioną, 4) į Lietuvos šiaurės vakarų, arba Žemaičių aukštumos, regioną, 5) į mažai ežeringas Vidurio ir Pajūrio žemumas ir 6) į visai neežeringą Medininkų-Eišiškių



97 pav. Lietuvos TSR ežeringumo kartograma (trapečių metodu)



98 pav. Lietuvos TSR ežeringumo kartograma (izolinių metodu)

aukštumą Lietuvos pietuose. Pobūdžio atžvilgiu Sūduvos ežerynas atitinka šiaurės rytų ežeryną, o Dzūkų aukštumos ežerynas atitinka Žemaičių aukštumos ežeringąją sritį.

Kaip rodo fizinis žemėlapis, ežernai susiskaido į ežerų grupes, kartais gana dideles, lyg į antros eilės ežerynus. Pavyzdžiui, Lietuvos šiaurės rytų ežeryne išskirtinas Dubingių ežerynas, kurio ežerai yra susispietę pažemėjime tarp Riešės ir Molėtų aukštumų. Molėtų ežeryno ežerai yra išsidėstę pažemėjime tarp Molėtų ir Utenos aukštumų, o Zarasų ežerynas — pažemėjime tarp Utenos ir Zarasų aukštumų. Pažemėjime tarp Utenos ir Švenčionių aukštumų, į kuri įeina pietryčių smėlėtosios lygumos kyšulys, yra susibūręs Ignalinos ežerynas. Dar išskirtinas pažemėjime tarp Zarasų ir Švenčionių aukštumų Dūkšto ežerynas. Dzūkų aukštumos ežeryne pažymėtinos Trakų, Aukštadvario ir Daugų ežerų grupės, o Sūduvos—Veisiejų ir Simno. Prie Simno grupės ežerų visų pirma priklauso Simno ir Giluičių ežerai, o paskui Dusios, Metelio ir Obelijos ežerai —

iš pietų pusės ir Žuvinto bei Amalvo ežerai — iš šiaurės pusės. Vidurio ir Pajūrio žemumose, o tuo labiau Medininkų-Eišiškių aukštumoje grupuoti ežerus neįmanoma, nes jų ten mažai tėra arba visai nėra. Nelengva grupuoti ir Žemaičių aukštumos ežerus. Vis dėlto gana aiškiai išsiskiria Varnių ir Platelių ežerų grupės.

Atsižvelgiant į ežerų ir pelkių durpynų bendrą plotą, galima spėti, kad Žemaičių aukštumos didžiausias ežeringumas iš pat pradžių, t. y. po paskutinio apledėjimo, buvo bent du kartu mažesnis už Baltijos aukštumų ežeringumą. Pirminis Žemaičių aukštumos ežeringumas buvo maždaug tris kartus didesnis už dabartinį.

Visų Baltijos aukštumų pirminis ežeringumas buvo maždaug vienodas. Lietuvos šiaurės rytuose jis mažai tepasikeitė. Daugiau jis pakito pietų vakaruose, o dar daugiau — pietų rytuose.

Orografiniu ir upių tinklo vystymosi atžvilgiu Lietuvos pietų rytai ir Lietuvos šiaurės vakarai analogiški. Kitaip sakant, Dzūkų ir Žemaičių aukštumos yra nurodytais atžvilgiais analogiškos. Savo ruožtu analogiški Lietuvos šiaurės rytai ir Lietuvos pietų vakarai (Sūduva).

Lietuvos Vidurio ir Pajūrio žemumų ežeringumas taip pat buvo daug didesnis, vis dėlto daug mažesnis už Baltijos ir net Žemaičių aukštumų ežeringumą. Šiuo metu šiose žemumose yra išlikęs labai nedidelis ežerų skaičius.

Tiek ežerų, tiek pelkių durpynų didžiausias ploto atžvilgiu susikaupimas konstatuotas 145—150 m absoliutinio aukščio zonoje. Toks nenormaliai didelis ežerų susitelkimas šioje zonoje leidžia spėti, kad prieš paskutinį apledėjimą Baltijos aukštumose turėjo dominuoti 145—150 m absoliutiniai aukščiai. Kadangi prie vandenskyrų išlieka daug ežerų, tai galimas daktas, kad šituose aukščiuose atsispindi reljefas, buvęs prieš paskutinį apledėjimą.

2. VISOS TARYBŲ SĄJUNGOS EŽERAI

Ežerų skaičiaus ir jų įvairumo atžvilgiu Tarybų Sąjunga užima pasaulyje įžymią vietą. I. V. Molčianovo duomenimis, Tarybų Sąjungos teritorijoje esama maždaug 250 000 gana stambių ežerų, neskaitant mažų ežerų, kurių statistika dar nėra sudaryta. Europinėje TSRS dalyje yra maždaug 35 000 ežerų, kurių paviršiaus plotas ne mažesnis už 1 km².

Tarybų Sąjungos ežerų įvairumas nepaprastas tiek paviršiaus dydžio, tiek gylio, tiek padėties, tiek kitais atžvilgiais. Tą įvairumą sąlygoja Tarybų Sąjungos teritorijos didumas.

Tarybų Sąjungoje yra didžiausias pasaulyje ežeras — Kaspijos jūra ir giliausias pasaulyje ežeras — Baikalo. Ežerų per 1000 km² paviršiaus ploto Tarybų Sąjungoje esama 19. Jie surašyti 31 lentelėje.

31 lentelė

Didžiausieji Tarybų Sąjungos ežerai

Nr. Eil.	Ežero pavadinimas	Absoliutinis aukštis (m)	Vandens paviršiaus plotas (km ²)	Didžiausias gylis (m)
1	Kaspijos	— 28	371 800	980
2	Aralo	53	65 500	68
3	Baikalo	454	30 500	1 620
4	Ladogos	4	17 700	225
5	Balchašo	340	17 400	26
6	Onegos	33	9 610	110
7	Isik-kulio	1 609	6 130	702
8	Taimiro	—	4 650	26
9	Chankos	69	4 400	10
10	Peipsio-Pskovo	30	3 560	14
11	Čianų	105	2 600	10
12	Alakolio	340	2 070	47
13	Zaisano	386	1 800	8
14	Tengizo	—	1 500	—
15	Sevano	1 914	1 410	99
16	Vigozero	—	1 159	20
17	Bieloje	111	1 120	11
18	Topozero	—	1 120	56
19	Ilmenio	19	1 100	5—6

Kaspijos jūros paviršiaus altitudė nepaprastai žema: — 28 m. Žema ir Ladogos ežero: 4 m. Taip pat yra nemažų ežerų, kurių altitudė gana aukšta, pvz., Sevano ežero 1914 m, Isik-kulio — 1609 m. Esama ežerų, kurių altitudė dar aukštesnė, bet jie už Sevaną ar Isik-kulį daug mažesni.

Tarybų Sąjungos ežerai ypačiai įvairūs dubenų kilmės atžvilgiu. Jų yra tektoninės, ledyninės, karstinės, vulkaninės, li-maninės, lagūninės ir kitokios kilmės.

Po Tarybų Sąjungos teritoriją ežerai pasiskirstę nevienodai, netolygiai: vienur jų apstu (10—15% bendro ploto), kitur beveik visai jų nėra.

Tarybinis hidrografas L. K. Davidovas visą Tarybų Sąjungos teritoriją skaido į 15 hidrografinių regionų:

1. Baltijos jūros baseinas (Tarybų Sąjungos ribose).
2. Šiaurės Karelija ir Kolos pusiasalis.
3. Šiaurės regionas.
4. Juodosios jūros baseinas (be Kaukazo ir Krimo).
5. Azovo jūros baseinas (be Kaukazo ir Krimo).
6. Volgos baseinas.
7. Kaspijos jūros baseino šiaurės rytų dalis.
8. Krimas.
9. Kaukazas.
10. Karos jūros baseino vakarinė dalis.
11. Karos jūros baseino rytinė dalis.
12. Lenos baseinas ir Laptevų jūros baseino vakarinė dalis.
13. Azijinės Tarybų Sąjungos dalies šiaurės rytų regionas.
14. Ramiojo vandenyno baseinas.
15. Vidurinės Azijos ir Kazachstano uždaro nuotėkio sritis.

Tarybų Sąjungos ežerus apžvelgiant, šia regionizacija patartina pasinaudoti.

3. VISO SAUSUMOS PAVIRŠIAUS EŽERAI

a) Bendras visos sausumos ežerų skaičius

I. V. Molčianovo duomenimis, Tarybų Sąjungoje esama 250 000 ežerų, neskaitant visai mažų vandens telkinių, kurių neįmanoma suskaičiuoti. Kadangi Tarybų Sąjungos teritorija užima tik šestą visos sausumos dalį, tai visoje sausumoje ežerų turėtų būti šešis kartus daugiau negu Tarybų Sąjungoje. Taigi visoje sausumoje būtų $250\,000 \times 6 = 1\,500\,000$ ežerų. Šis skaičius aiškiai per didelis, nes kitos sausumos dalys daug mažiau ežeringos negu Tarybų Sąjunga. Mat, Tarybų Sąjungoje esama visų didžiausio pasaulyje ežero — Kaspijos jūros ir daugelio kitų didelių ežerų. Tai tenka Tarybų Sąjungos ežerų skaičių dauginti ne iš 6, o iš 4. Išeitų, kad visoje sausumoje esama 1 000 000 ežerų. V. Družinikas ir I. Slonimas ima kuklesnį Tarybų Sąjungos ežerų skaičių, būtent 225 000, ir dauginą iš 4. Gaunama 900 000. Tiek pagal juos būtų visoje sausumoje ežerų. Imkime vidurkį, būtent 950 000. Šis skaičius bene bus tiksliausias. Ar šiaip ar taip, visoje sausumoje ežerų esama arti milijono.

A. S. Barkovas nurodo, kad viso sausumos paviršiaus ežerai užima 2 700 000 km² plotą. Kadangi viso sausumos paviršiaus plotas siekia maždaug 150 000 000 km², tai ežerų užimamas plotas sudaro 1,8% viso sausumos paviršiaus.

Svarbiausi pasaulio ežerai — tai Tarybų Sąjungos ežerai. Kiti svarbesni pasaulio ežerai surašyti 32 lentelėje.

Vandenynai ir jūros užima maždaug 0,7 viso žemės paviršiaus, o sausumos vidaus vandenys — tik 0,006. Vandenynai taip erdvės, taip laiko atžvilgiu sudaro ištisybę, kontinuumą, jų amžius labai ilgas. Palyginti su jais, ežerai yra efemeriški padarai, nes jie ne per seniai gimę ir daugelis iš jų netrukus mirs. Vis dėlto ežerai svarbus reiškinys, jei ne sausumai iš viso, tai atskiroms jos dalims, ypačiai Tarybų Sąjungai, o drauge ir Lietuvai.

b) Kuriose vietose ežerų daugiausia

Šiaurės pusrutulyje sausumos daugiau negu pietų pusrutulyje. Tai ir ežerų šiaurės pusrutulyje esama daugiau.

Šiaurės pusrutulyje ypačiai gausu ežerų gana aukštose platumose,— vietose, kur siekė paskutinis apledėjimas. Tačiau Azijoje aukštose platumose ežerų negausu. Jų gausu tik Europos ir Šiaurės Amerikos aukštose platumose. Pačiose aukštosiose platumose,— tiek šiaurės pusrutulyje, tiek pietų,— ežerų negali būti, nes šiaurės pusrutulyje, Arktikoje, jūra, o pietų pusrutulyje, Antarktikoje, klimatas toks atšiaurus, jog visa ežero vandens masė turi pavirsti ledu. Vis dėlto Antarktidos pakraščiuose oazėse rasta nedidelių ežerėlių.

Ežerų paprastai pasitaiko kalnuose (Alpėse, Kordiljeruose) ir apskritai nelygumose, bet ne visur. Kalnuotuose kraštuose ežerų pasitaiko dažniau negu lygiuose.

Daug kur ežerų būna gausu pagal upes, ypačiai lėtai tekančias ir plačiai išsiliejančias. Daug kur ežerų susidaro upei kaitant vagą. Pažymėtina, kad daugelio ežerų esama Mezopotamijoje, prie Kinijos upių, prie Misisipės upės ir kt.

Daug kur ežerai pasisklaidę pagal jūros pakraštį, taigi gana žemose vietose. Daugelio tokių ežerų absoliutinis aukštis ne ką didesnis už jūros lygį.

Jei klimatas drėgnas, kritulių būna daug, tai ežerų būna ir žemų lygumų įdubimuose. Pasitaiko ežerų ir plynaukštėse.

Svarbesni pasaulio ežerai
(be Tarybų Sąjungos)

Eil. Nr.	Pavadinimas	Abs. aukštis (m)	Plotas (tūkst. km ²)	Didž. gylis (m)
Europa				
1	Venerno	44	5,5	98
2	Veterno	88	1,9	119
3	Ženevos	309	0,6	310
Azija				
4	Kuku-Noro	3 205	4,8	38
5	Vano	1 720	3,7	25
6	Negyvoji j.	— 393	1,0	399
Afrika				
7	Viktorijos	1 135	68,0	80
8	Tanganjikos	773	32,9	1 435
9	Njasos	464	30,8	706
10	Čiado	243	11,0	4
Šiaurės Amerika				
11	Aukštutinis	183	82,4	397
12	Hurono	177	59,6	229
13	Mičigano	177	58,0	281
14	Didysis Lokių	120	30,2	137
15	Didysis Vergų	158	28,9	140
16	Erio	175	25,7	64
17	Vinipego	216	24,3	19
18	Ontario	75	19,5	236
Pietų Amerika				
19	Titikakos	381	6,9	272
Australija				
20	Eiro	— 12	8,2	—

Žodžiu, ežerų pasitaiko įvairiose, bet tinkamose aplinkybėse ir jie pasiskirstę po sausumos paviršių netolygiai, ar kalbėsime apie visą žemės paviršių apskritai, ar kalbėsime apie atskiras to paviršiaus dalis — apie atskirus regionus, šalis, kraštus. Ar imsime kurią nors pasaulio dalį (Europą, Ameriką ir kt.), ar Tarybų Sąjungą, ar tik vieną Lietuvos TSR, tai visur pastebėsime, kad nevienodo ežerų pasiskirstymo dėsnis galioja, kad vienur yra susitelkę ištisi ežerynai, kitur pasitaiko po vieną kitą ežerą, o dar kitur visai ežerų nėra. Jų ar visai ten nebuvo, ar suspėjo jau išnykti.

Bendrai žemės paviršiuje galima išskirti dvi ežeringas zonas: vieną — šiaurėje, kur siekė paskutinis apledėjimas, kitą — arčiau tropiko,— ten, kur Mongolija, Tibetas, Pamiras, Vakarų Sibiro pietinė dalis, Turano žemuma, Pakaspijo žemuma. Antrosios zonos ežerai dažniausiai nenutekami, sūrieji ar druskingieji; juos maitina gruntiniai vandenys, nes lietaus ten būna mažai. Ir ežero paviršiaus lygis paprastai būna sulig gruntinių vandenų lygiu.

Abiejose šiose didžiosiose ežeringose zonose pasitaiko tektoninės kilmės ežerų. Šios kilmės ežerai azonalūs.

c) E ž e r a s i r a p l i n k a

Bendrojoje ežerotyroje dėmesio centre buvo arba ežero duobuo, arba ežero vandens masė. Regioninėje ežerotyroje pirmoje vietoje stovi ežero aplinka. Visų pirma tenka atsižvelgti į klimatinę zoną, kurioje yra tas ar kitas ežeras, nes ežeras, kaip ir upė ir visas kurios nors sausumos dalies hidrografinis tinklas, yra klimato funkcija.

Karštosios klimatinės zonos ežeruose vyksta intensyvus vandens garavimas, pavyzdžiui, ekvatorinės Afrikos ežeruose. Ledo režimo visai nėra. Ežerus maitina lietus, o ne sniegas.

Vidutinės klimatinės zonos ežeruose vandens garavimas vyksta daug silpniau negu karštosios zonos ežeruose. Ledo režimas gana griežtas. Vandens masei susidaryti reikšmės turi turi tiek lietus, tiek sniegas.

Šaltojoje klimatinėje zonoje vanduo iš ežerų garuoja dar silpniau negu vidutinėje. Ledo režimas labai griežtas, nes vandens temperatūra ir vasarą būna žema, kaip kad karštosios klimatinės zonos ežeruose aukšta. Ežerus maitina daugiau sniegas negu lietus.

Klimatinių zonų ežerai skiriasi taip pat floros ir faunos atžvilgiu. Kitokie augalai ir gyvuliai karštosios klimatinės zonos ežeruose, kitokie vidutinės, kitokie šaltosios.

Klimatinės zonos kalnuose yra lyg atspindys klimatinių zonų žemės paviršiuje: apačioje šilta, ties viduriu vidutiniška, aukštai šalta. Pagal tai keičiasi vandens temperatūra, garavimas ir ledo režimas. Pastebėtina, kad aukštai kalnuose yra sumažėjęs atmosferos slėgis. Ši aplinkybė vandens garavimą veikia palankiai.

Dar tiksliau negu klimatinės zonos ežerų aplinką apibrėžia landšaftų tipai: tundra, miškai, stepės, dykumos, savanos, atogrąžų miškai. Visa tai, apžvelgiant įvairių regionų ežerus, reikia turėti omenyje.

d) A. I. Dzėns-Litovskio viso sausumos paviršiaus ir Tarybų Sąjungos ežerų geografinis zonavimas

A. I. Dzėns-Litovskis savo darbe „Gėlųjų, apysūrių ir druskingųjų ežerų paplitimo geologiniai geografiniai dėsninūmai“ (1959) rašo apie žemės rutulio žemynų ežerų ir Tarybų Sąjungos ežerų geografines zonas. Pateikė du žemėlapius.

Dzėns-Litovskis savo teigimus remia ežerų sąsąju su aplinka, remia faktu, kad visose geografinėse zonose ežerai vaidina pagrindinį geografinių landšaftų elementų vaidmenį ir užima reljefo apspręstą jiems vietą.

Ežerus, taip gėluosius, taip ir apysūrius bei druskinguosius, tenka laikyti svarbiausiais atitinkamų geografinių zonų elementais.

Ežerų dubenų, vandens masės ir dugninių nuogulų cheminės sudėties, hidrologinio režimo ir hidrobiologinio ežero gyvenimo susiformavimas vyko ir vyksta kiekvienoje zonoje priklausomai nuo bendrųjų fizinių geografinių sąlygų, kurios griežtai zoniškai ežerus paskirstė žemės paviršiuje.

Ežero dubens, jį pripildančios vandens masės, dumblo, sapropelių ar druskų ir kitų dugninių nuogulų kilmė ir vystymasis priklauso nuo fizinių geografinių sąlygų tos zonos, kurioje tas ar kitas ežeras susidarė ir gyvena.

Geologijos, hidrogeologijos, geografijos ir geochemijos dėsniai ežerus vienus su kitais susieja ir sudaro iš jų griežtai apibrėžtas grupuotes pagal sritis ir zonas. Ežerų paskirstymo po žemės paviršių dėsniai yra šių dienų geochemijos ir geografijos dėsniai. Kiekviena ežerinė zona pasižymi eile būdingų požymių, kurie skiriasi nuo kitų zonų; plisdama meridianine kryptimi atskira ežerinė zona gali įsiskverbti į kaimynines landšaftines zonas.

Vis dėlto ežerinių zonų ribos su landšaftinių zonų ribomis nesutampa, nes perėjimai iš vienos ežerinės zonos į kitą yra dar mažiau žymūs negu perėjimai dirvožemių ar augalinės dangos.

Žemės rutulio žemynų ežerų geografinės zonos. Atsižvelgiant į landšaftines zonas žemės paviršiuje, galima išskirti ežerines zonas, t. y. zonas su tipingais ir būdingais ežerais (99 pav.).

I. Žemos tundros ir miškatundrės zonos seklūs (0,25—0,75 m gylio), gėli, sapropeliniai ežerai.

II. Miškų ir taigos su jauriniu, molio, priemolio ir priesmėlio dirvožemiu zonos gilūs (iki 25—30 m ir gilesni) sapropeliniai ežerai; sapropeliai karbonatiniai ir silikatiniai.

III. Miškastepės ir miškastepės salų zonos negilūs (0,5—3 m), gėli ir apysūriai, sapropeliniai ežerai.

IV. Stepių ir pusdykumių su juodžemio, kaštoniniais ir rudaisiais dirvožemiais zonos seklūs (0,45—2 m), apysūriai ir druskingi ežerai, turi purvo ir savaime nusėdusių druskų*.

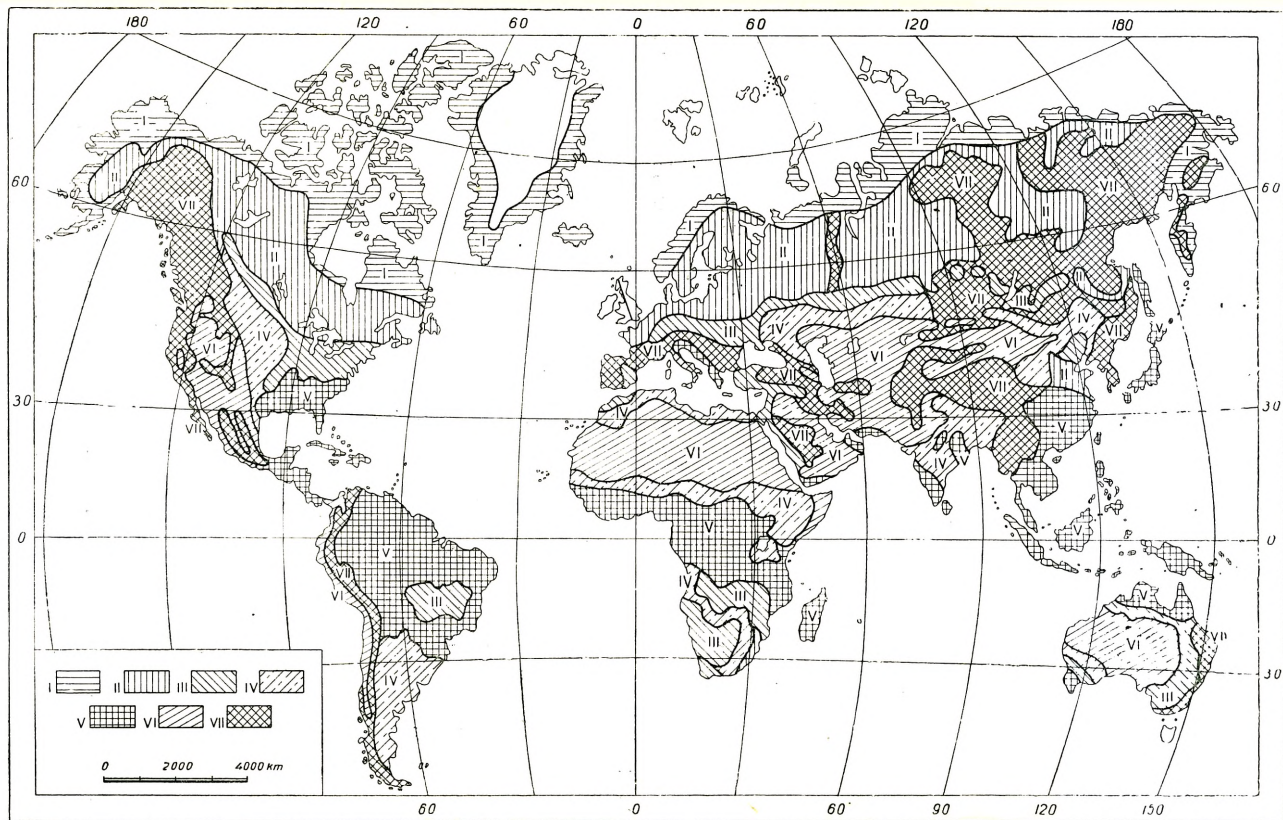
V. Drėgnųjų subtropikų ir tropikų su ryškiai rudais, beveik raudonais, taip pat geltonais ir lateritiniais dirvožemiais zonos gėli, sapropeliniai ežerai.

VI. Dykumų su molžemio, geltonžemio (liosio), smėlingu ir akmeningu dirvožemiu zonos seklūs (0,25—1,5 m), druskingi ežerai, turi savaime nusėdusių druskų.

VII. Tundros, miškų, stepių ir dykumų kalnuotų, taigi aukštų, sričių gilūs (iki 35 m ir gilesni), gėli ir apysūriai, sapropeliniai ežerai.

Šių visų septynių ežerinių zonų ribos nurodytos žemėlapyje (99 pav.), pačias zonas pažymint romėnų skaitmenimis: I, II, III, ..., VII.

* Savaime nusėdusios druskos — tai tokios druskos, kurios iš vandens išsiskiria pačios; tam išsiskyrimui nereikia vandens garinti.



99 pav. Žemynų ežerinių zonų scheminis žemėlapis (žr. tekstą)

Tarybų Sąjungos ežerų geografinės zonos. Remdamasis vandenų ir nuogulų hidrochemine sudėtimi, prof. Dzėns-Litovskis išskiria Tarybų Sąjungos teritorijoje 6 ežerines zonas, būtent:

I. Žemos tundros zonos seklūs, gėli, sapropeliniai ežerai, turį organinių rūgščių.

II. Miškų ir jaurinių dirvožemių zonos gilūs, gėli, hidrokarbonatiniai, sapropeliniai ežerai su geležies ir organinių medžiagų tam tikrais kiekiais.

III. Miškastepės ir miškastepės salų negilūs, gėli ir apysūriai, sapropeliniai ežerai.

IV. Stepių ir pusdykumių su juodžemio, kaštoniniais ir rudais dirvožemiais zonos negilūs, apysūriai ir druskingi ežerai, turį purvo ir savaime nusėdusių druskų.

V. Dykumų su pilkai rudais dirvožemiais ir pilkožemiu zonos seklūs, net sausi, druskingi ežerai, turį savaime nusėdusios druskos.

VI. Kaukazo, Vidurinės Azijos, Sibiro ir Tolimųjų Rytų kalnuotų sričių gilūs, gėli, sapropeliniai ežerai.

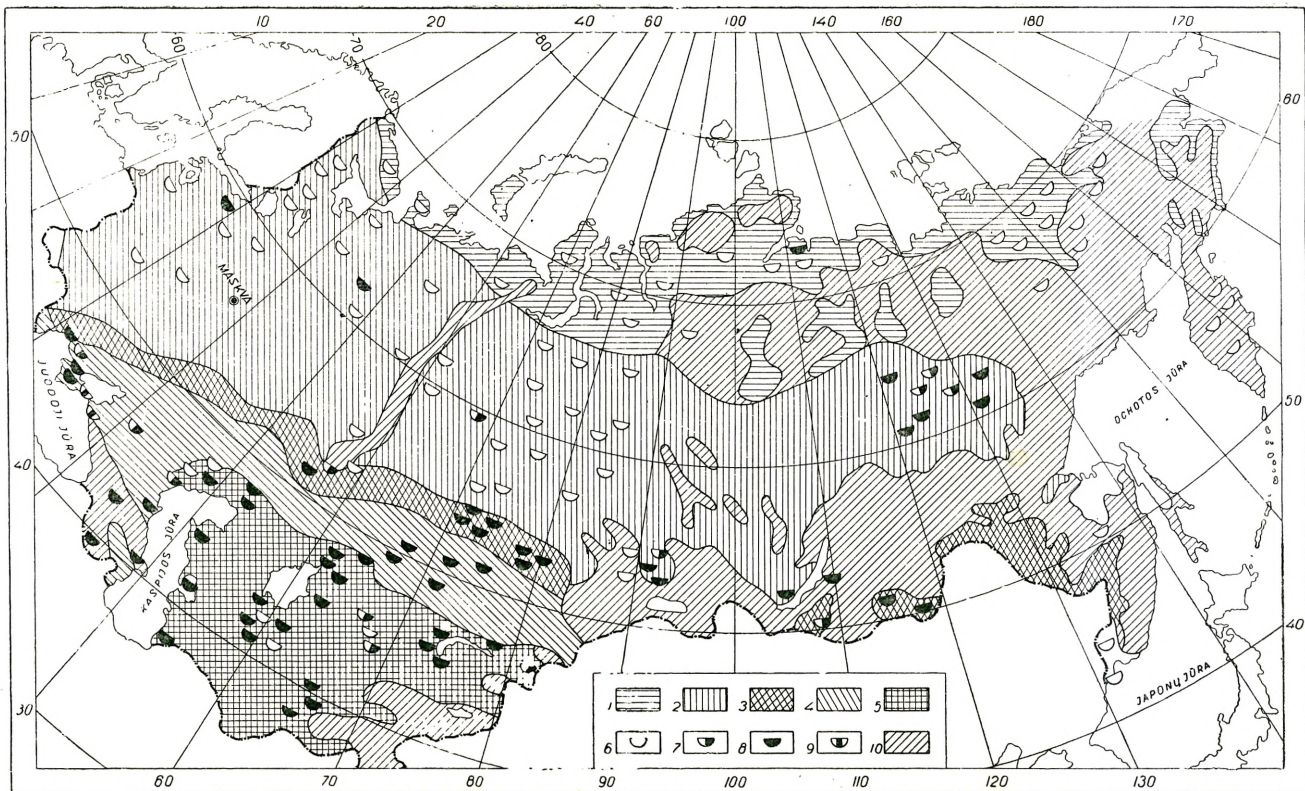
Tačiau žemėlapyje (100 pav.) išskirta 10 ežerinių zonų, būtent:

- 1 — tundros zonos ežerai;
- 2 — miškų zonos ežerai;
- 3 — miškastepių zonos ežerai;
- 4 — stepių zonos ežerai;
- 5 — dykumų ežerai;
- 6 — gėlieji, sapropeliniai ežerai;
- 7 — apysūriai, sapropeliniai ir purviniai ežerai;
- 8 — druskingieji ežerai su savaime nusėdančia druska ir purviniai;
- 9 — purvinių kalvų (sopkų) ežerai;
- 10 — kalnuotų sričių ežerai.

Dešimt zonų pasidarė todėl, kad kai kurios pagrindinės zonos buvo suskaidytos.

*

Savaime aišku, kad Lietuvos ežerai priklauso II-jai zonai, t. y. zonai miškų ir jaurinių dirvožemių. Jie gana gilūs, gėli, juose telkiasi hidrokarbonatai ir organinės medžiagos; esama, kaip matėme, ir geležies.



100 pav. Tarybų Sąjungos ežerinių zonų scheminis žemėlapis (žr. tekstą)

Jei imsime lyginti tos pačios zonos ežerus vienus su kitais, tai bendrų bruožų panašumo rasime daug daugiau negu lygindami įvairių zonų ežerus. Be to, ir pats zonų išskyrimas įmanomas tik ežerų vieno su kitais palyginimo dėka. Taigi darosi suprantama, dėl ko regioninė limnologija vadinama dar lyginamąja. Šis terminas vartojamas tuo atveju, kai norima parbrėžti darbo metodą.

II. TAIKOMOJI IR PRAKTINĖ LIMNOLOGIJA

Taikomoji ir praktinė limnologija labai susijusios limnologijos dalys; taikomojoje dėmesys kreipiamas į naudą, kurią ežerai teikia žmogui, arba tiksliau — liaudies ūkiui, o praktinėje dėmesys kreipiamas į metodus, kuriuos limnologai, teoretikai ir praktikai, panaudoja, tirdami ežerus. Liaudies ūkio tikslai apsprendžia tyrimų apimtį ir metodų pobūdį. Todėl pirma kalbėsime apie taikomąją, o paskui apie praktinę limnologiją. Praktinė limnologija knygą baigsime.

1. TAIKOMOJI LIMNOLOGIJA

Nuo senų senovės buvo stengiamasi ežerus vienokiu ar kitokiu būdu panaudoti, priklausomai nuo visuomenės santvarkos ir technikos išsivystymo: buvo naudojamosi ežerų vandeniu, ežerais susisiekiama, juose gaudomos žuvys, juose medžiojama ir t. t.

Mes visų pirma kalbėsime apie žuvų ūkio pagrindus, toliau apie medžioklę, susisiekimą ir transportą, gyventojų aprūpinimą vandeniu ir ledu, apie ežerus ir melioraciją, apie ežerus ir pramonę, pagaliau apie ežerus ir energetiką.

Dėl lengvai suprantamų motyvų turėsime omenyje daugiausia Lietuvos TSR ežerus. Tarybų Lietuvos verslinių ežerų paviršiaus plotas siekia 78 000 ha, t. y. daugiau kaip 80 % viso Lietuvos TSR ežerų paviršiaus (94 600 ha).

a) Pagrindinės žinios apie žuvų ūkį

Perspektyvos. Fizinės, cheminės, o drauge ir biologinės sąlygos, vyraujančios ežere, leidžia gyventi jame atitinkamai žuvų rūšių sudėčiai. Jeigu tos sąlygos pasikeičia, tai pasikeičia ir ichtiofauna.

Lietuvos ežerai yra palyginti dar gana jauni, susiformavę ledynams betirpstant. Ežerų ichtiofauna iš pradžių turėjo būti šaltavandenė, kurioje pirmoji vieta priklausė lašišinėms žuvims. Vėliau, klimatui sušvelnėjus ir ežerams neišvengiamai eutrofizuojantis, sąlygos šaltavandenėms žuvims darėsi vis nepalankesnės, ir tos žuvys daugelyje Lietuvos ežerų išnyko, o į jų vietą, pasinaudodamos įvairiais vandens keliais, imigravo iš pietų šiltavandenės rūšys, tarp kurių centrinė vieta priklauso karpinių šeimai.

Greta gamtinių faktorių milžinišką poveikį ežerams ir jų ichtiofaunai daro visokeriopa žmogaus ūkinė veikla. Augalinės dangos pakeitimas ežerą maitinančiame plote, vartoto vandens suleidimas iš pramonės įmonių, energetiniai įrengimai, pelkių nusausinimas, nuolatinė žūklė bei žuvų naujų rūšių aklimatizavimas,— visa tai net per trumpą laiką gali iš pagrindų pakeisti ir ežero režimą, ir jo ichtiofaunos rūšinę sudėtį.

Visi šie faktai akivaizdžiai įrodo, kad ežero žuvų faunos sudėtį dažnai nulemia atsitiktiniai veiksniai. Žuvų rūšinė sudėtis dažnai neatitinka tų sąlygų, kurios ežere vyrauja, ir tokiu atveju žmogui atsiveria plati kryptingo veikimo dirva. Štai keli ryškūs pavyzdžiai, kas buvo pasiekta vien tik naujų žuvų introdukcijos keliu.

Didžiuliame rytų Kazachstano Balchašo ežere (plotas 17 000 km², vidutinis vakarinės sugėlėjusios dalies gylis 4,8 m) iki XX a. pradžios buvo aptinkamos tik 4 antraeilės reikšmės žuvų rūšys. 1913—1914 metais į ežerą iš upės Ili natūraliu keliu pateko sazanas, kuris ežere rado labai palankias sąlygas — vietinių žuvų beveik neliečiamą zoobentosą. Iš mažai produktyvaus Balchašas pasidarė labai produktyviu ežeru: vien tik sazano kasmet jame dabar pagaunama apie 100 000 cnt.

Tavatujaus ež. (Sverdlovsko sr.) plotas 2 100 ha, didž. gylis 8,5 m, vid. 6 m. Pagrindinės šio ežero žuvys seniau buvo kuoja, ešerys, lydeka, pūgžlys, karosas, meknė, vėgėlė. Ežeras buvo tipingas ešerinis-kuojinis su palyginti didele, kaip tokiam ežerų tipui, 33 kg/ha per metus produkcija, kurios 95% sudarė antraeilės rūšys — kuoja ir ešerys. 1925—1935 metų laikotarpyje į šį ežerą buvo įveistos 3 vertingos ežerinių lašišinių žuvų rūšys (2 sykų rūšys ir ripusas), dėl ko ežeras pagaliau virto ripusiniu-sykinio su žuvies produkcija ne mažesne kaip 40—60 kg/ha.

Sudoblės ež. (Baltarusijos TSR). Pagrindinės žuvys čia seniau buvo kuoja, ešerys ir karosas, o bendra produkcija apie 35 kg/ha. 1937 m. ežeras buvo panaudotas karpių auginimui ir davė produkciją 126 kg/ha, kurioje karpinės sudarė 91 %. Reikia pastebėti, kad ešerinio-kuojinio tipo ežerai, prie kurių pagal sugautos žuvies kokybę priklausė ir Sudoblė, privalo duoti vidutiniškai 20 kg/ha. Dėl žmogaus kryptingo įsikišimo šis ežeras virto karpiniu, o žuvies produkcija padidėjo kelis kartus.

Lietuvos ežerų ūkinės reikšmės vaizdas geriausiai matyti iš žuvies pagavimo statistinių duomenų. Pažvelgsime į 1950—1957 metų laikotarpio duomenis, kai žvejyba ežeruose dar buvo vykdoma visu intensyvumu, o ežerų produktyvumo pakėlimo klausimas vos tik buvo pradėtas praktiškai spręsti. Tą laikotarpį vidutiniškai per metus būdavo pagaunama 5 693 cnt žuvies.

Žuvies sugavimo Lietuvos ežeruose % 1950—1957 m.

Kuoja	30,2	Starkis	0,8
Lydeka	13,8	Plakis	0,6
Aukšlė	9,3	Ungurys	0,3
Karšis	8,7	Karosas	0,2
Ešerys	4,0	Vėgėlė	0,2
Raudė	3,4	Meknė, žiobrys, ša-	
Stinta	3,3	mas, karpis, sykas	
Seliava	2,2	ir kt.	0,3
Pūgžlys	1,7	Įvairios smulkiosios	
Lynas	1,3	žuvys	19,7
			Iš viso 100%

Dabartiniu metu Lietuvos TSR ežerai dar yra mažai produktyvūs. Jų metinę vidutinišką žuvies produkciją sudaro 6 kg/ha. Pastaruoju metu dėl žvejybos apribojimo produkcija dar sumažėjo. Krinta į akis, kad sugautos žuvies vertingos rūšys (seliava, karšis, lynas, lydeka, starkis, ungurys) per 1950—1957 m. laikotarpį sudarė vidutiniškai vos 27,1%. Vyraujančios žuvų rūšys yra kuoja, aukšlė, raudė, ešerys, daug kur pūgžlys. Be to, buvo sugaunama 19,7% įvairių smulkių žuvų, jų tarpe ir pramoninių žuvų jauniklių. Tokia nepalanki padėtis susidarė dėl neracionaliai vedamo žuvų ūkio. Moksliniai tyri-

mai ir praktika rodo, kad žuvies produkciją galima padidinti vidutiniškai iki 20 kg/ha. Be to, galima pagerinti žuvies kokybę. Tai galima pasiekti, gerinant vertingų žuvų gyvenimo sąlygas ežeruose, saugojant žuvis ir jas kryptingai žvejojant, ežerus praturtinant vertingomis žuvų rūšimis ir įvairiomis priemonėmis skatinant jų veisimąsi.

Ežerų gamybinė klasifikacija. Ne visi ežerai vienodai tinka toms pačioms žuvims gyventi ir ne visų produktyvumas gali būti vienodas. Ežeras ežerui nelygu. Turint tai omenyje, įvykdžius respublikos ežerų pasportizaciją, buvo išryškinti individualiniai kiekvieno ežero, kaip gamybinio objekto, bruožai. Tai įgalina kiekvieną atskirą ežerą priskirti atitinkamam gamybiniam tipui. Klasifikacijos gamybiniais tipais uždavinys yra nustatyti, koks vietinių žuvų rūšių kompleksas gali atitinkamo tipo ežere geriausiai augti ir duoti didžiausią produkciją. Aišku, kad tokia klasifikacija negali būti absoliutizuojama, nes naujų žuvų aklimatizacijos atveju bendras ežero vaizdas kartais gali labai pasikeisti.

Ežerų gamybinė klasifikacija daroma, remiantis teorijos ir praktikos duomenimis. Nuo 1958 m., sukūrus respublikoje žuvininkystės ūkius, atsirado reali galimybė platesniu pagrindu vykdyti ežerų tyrimus, planuoti žuvivaisios priemones, sudaryti kiekvieno ežero panaudojimo planą.

Klasifikuojant ežerus gamybiniais sumetimais į tipus, dažniausiai atsižvelgiama į M. P. Somoovo pasiūlytą schemą, pritaikant pakeitimus, atitinkančius vietos sąlygas. R. Volskis 1959 m. pasiūlė vadovautis Lietuvos sąlygomis šiais pagrindiniais ežerų tipais:

Sykiniai ežerai. Ežero apylinkių kraštovaizdis moreninis. Ežero gylis dažnai praneša 20 m. Pakraščiai smėlėti, akmenuoti, mažai arba visai neužaugę šiurkščia vandens augalija (nendrės, meldai, švendrai). Gruntai labai tinka ežerinių lašišinių žuvų neršimui. Minkštos augalijos nedaug. Dujų režimas vandenyje palankus per ištisus metus, o tai labai svarbi sąlyga lašišinėms žuvims gyventi. Šio tipo ežeruose pasitaiko reliktinių vėžiagyvių.

Žuvų įvairumas didelis. Būdingos rūšys — seliava ir sykas. Be to, yra plačiai paplitusios ir kitos žuvų rūšys kaip stinta, karšis, aukšlė, kuojas, ešeris, pūgžlys, lydeka, vėgėlė ir kt.

Vidutinė žuvies produkcija — 30 kg/ha per metus.

Prie šio tipo priskirtini Platelių, Dusios, Lūšių, Aiseto ir kt. ežerai.

Karšiniai ežerai. 10–12 m gylio, vasarą gerai įšylantieji eutrofiniai lygumų ežerai. Vandens skaidrumas vidutiniškas. Litoralinė zona ir jos augalija gerai išsivysčiusios. Dujinis režimas patenkinamas, žuvų dusimas pasitaiko retai. Profundalis turtingas zoobentosos. Žuvų fauna gana įvairi, sudaryta iš šiltavandenių rūšių. Būdingos žuvys — karšis, aukšlė, kartais stinta ir net seliava, o taip pat labai paplitusios rūšys, kaip kuoja, raudė, lynas, ešerys, pūgžlys, lydeka ir kt. Ežeras tinka gyventi starkiui.

Vidutinė žuvies produkcija — 30 kg/ha per metus. Svarbiais karšio konkurentais būna pūgžlys ir plakis, todėl karšio metinis sugavimas tik retai būna didesnis kaip 8–10 kg/ha.

Starkiniai ežerai. Gana stambūs ežerai, panašūs į karšinius, tik seklesni (4–10 m gylio). Šiurkščioji augalija gausesnė negu karšiniuose ežeruose. Labai palankūs starkiui tokie ežerai, kuriuose jauniems starkiams maitintis yra nedidelių pelaginių žuvelių — stintų arba aukšlių, o suaugusiems — pūgžlių. Nedidelis vandens skaidrumas starkiui naudingas, nes palengvina jam sugauti grobį.

Būdingos žuvys — storkis, karšis, aukšlė, kuoja, raudė, lynas, pūgžlys, ešerys, lydeka ir kt. Vidutinė pasiekiama žuvies produkcija — 30 kg/ha per metus.

Ežerų, kuriuose gyvena storkis, Lietuvoje nedaug. Tipingiausi yra Dysnų ir Dysnykščio ežerai. Gerai storkiai tinka ir karšiniams ežerams. Nuo 1953 m. storkius pradėta veisti daugelyje respublikos ežerų — Luodžio, Čičirio, Dringių, Dūkšto, Ūkojaus, Linkmenų, Lūšių, Kretonų, Aiseto, Anykštos, Daugų, Metelio, Plinkšių ir eilėje kitų ežerų. Be to, Kauno ir Antalieptės tvenkiniuose. Tinkamų starkiui veisti Lietuvos ežerų plotas, R. Volskio duomenimis, sudaro apie 17 000 ha.

Lydekiniai ežerai. Ežerų gylis nedidelis. Antvandeninė ir povandeninė augalija labai išsivysčiusi. Makrofitai auga visame ežero dugno plote, todėl profundalinės srities nėra. Dugnas labai dumblėtas. Pakraščiais pasitaiko plovai.

Žuvų fauna neįvairi. Būdingos žuvys — lydeka, kuoja, ešerys, lynas, karosas.

Vidutinė pasiekiama žuvies produkcija — 35 kg/ha per metus.

Sio tipo ežerai Lietuvoje yra labai paplitę. Jie gali būti pavirsti ganykliniais karpiui.

Karosiniai ežerai. Seklūs (2—3 m gylio), baigiantieji užaugti ežerai. Būdingas šių ežerų bruožas — ryškus deguonies deficitas žiemą. To pasekmė — žuvų dusimas. Vandens rūgštingumas dažnai būna padidintas. Zoobentosos neturtingas, užtat pagrindinę reikšmę žuvims įgyja zooplanktonas ir augalai.

Dėl nepalankių sąlygų žuvų fauna labai neturtinga. Būdingiausia žuvis — karosas.

Vidutinė pasiekiamą žuvies produkcija — 12 kg/ha per metus.

Biologinė ežerų klasifikacija, kurios pagrindą sudaro jų zoobentosos ir zooplanktono gausumo laipsnis, tik iš dalies sutampa su gamybine klasifikacija. Tam pačiam biologiniam tipui priklausą ežerai gali priklausyti skirtingiems gamybiniais tipams. Gamybinės klasifikacijos privalumas yra tas, kad ji patikslina biologinę klasifikaciją pagal ežero tinkamumą gyventi vienoms arba kitoms vertingoms žuvų rūšims.

Patyrimas rodo, kad ežeras duoda didžiausią produkciją tik tada, jeigu jame žuvų rūšių nedaug, bet jos atitinka visus pagrindinius pagal mitybą tipus: litoralinius ir profundalinius bentofagus, planktofagus ir, pagal reikalą, kai kurias plėšriąsias rūšis.

Ežeruose, kur išsivystęs profundalis, tinkamiausi bentofagai yra sazanas ir karšis, o kur, be to, yra šaltų gelmių ir geras dujų režimas — sykas. Kiti bentofagai, kaip pūgžlys ir plakis, yra nepageidaujami. Gerais litoralinės zonos bentofagais yra lynas, o kraštutiniai eutrofiniuose ir distrofiniuose ežeruose — karosas. Prie bentofagų reikia priskirti ir ungurį, kuris, be to, maitinasi ir smulkia žuvimi. Šios žuvies įveisimas, jeigu tik galima gauti jo jauniklių, visada yra pageidautinas.

Prie tikrų planktofagų priklauso Lietuvos ežeruose tik seliava, stinta ir aukšlė. Vertingiausia yra seliava, užtat stengiamasi, kad ji plačiai pasklistų respublikos ežeruose. Tačiau seliavai gerai tinka tik sykinio tipo ežerai. Kiti mūsų planktofagai yra antraeilės reikšmės žuvys. Į Tarybų Sąjungos sykinio ir karšinio tipo ežerus dažnai introdukuojamas seliavai artimas ripusas, kuris yra ne tik planktofagas, bet iš dalies ir bentofagas. Ripusas yra kilęs iš Ladogos ežero.

Plėšriųjų žuvų tarpe dėmesio verti yra tik storkis ir lydeka. Kadangi Lietuvos ežeruose gausu įvairių menkaverčių žuvų rūšių (kuoja, raudė, plakis, pūgžlys ir kt.), nuo kurių ežerus apvalyti yra sunku, todėl geriausiais tų žuvų naikintojais tenka laikyti plėšriąsias žuvis. Plėšriųjų žuvų privalumas yra tas, kad jos greitai auga. Storkį reikia įveisti tuose ežeruose, kur yra daug stintų, aukšlių, pūgžlių. Lydeka yra litoralinės zonos plėšikas. Ją racionaliausia globoti ežeruose, kur gausu makrofityų ir kur vyraujančios žuvys yra kuojos, raudės, ešerys.

Ežerų produktyvumo faktoriai. Ežero žuvinis produktyvumas priklauso nuo daugelio faktorių, į kuriuos praktikams reikia atsižvelgti. P. A. D r i a g i n a s nurodo šiuos pačius svarbiuosius faktorius:

Ežero žuvų rūšinė sudėtis — labai svarbus faktorius, turįs įtakos ežero žuviniam produktyvumui. Jis reiškiasi tuo, kad yra lėtai augančių, neefektyviai sunaudojančių maistą žuvų rūšių (pūgžlys, plakis, ešerys, kuojos), ir yra greit augančių rūšių. Pirmosios neproduktyvios. Antrųjų (syko, ripuso, sazano) įveisimas labai padidino kai kurių Uralo, Kaukazo, Baltarusijos ežerų produktyvumą. Yra būtinas reikalas žuvų rūšinę sudėtį reguliuoti, atsižvelgiant į ežero gamybinį tipą. Produktyviausi yra ežerai, kuriuose žuvų rūšių nedaug, pašarinę bazę jos išnaudoja efektyviai ir greit auga.

Taikiųjų ir plėšriųjų žuvų kiekybinis santykis. Ežeruose, kuriuose pageidautinos plėšriosios žuvys, jų neprivalo būti daugiau kaip 20—25% bendro pagaunamų žuvų svorio. Didesnis plėšriųjų žuvų kiekis priveda jas prie kanibalizmo ir smarkiai mažina ežero produktyvumą.

Mažaverčių žuvų rūšių gausumo laipsnis. Mažavertės žuvys blogina vertingųjų žuvų maitinimosi sąlygas, dažnai suryja vertingus žuvų ikrus ir jauniklius, padeda plisti infekcijoms ir parazitams, duoda menkaverčius žuvies produktus. Su menkavertėmis žuvimis kovojama įvairiai: išžvejojant, ypač neršto periode; naikinant jų ikrus; sudarant palankesnes sąlygas jų konkurentams ir plėšriosioms žuvims. Radikaliausia priemonė, kuri tinka tik nedideliems uždariems baseinams, yra pilnas tų žuvų išnuodijimas ir iš naujo tik vertingų rūšių įveisimas.

Veisiamų žuvų tankumo laipsnis ir jo reguliavimas. Yra žinoma, kad ežeruose ir tvenkiniuose, priklausomai nuo veisiamų

žuvų individų tankumo, sažano ir karpio šiųmetukai iki rudens gali užaugti ir sverti 10—15 g, 40—50 g ir 400—500 g. Yra žinoma, kad karšiai ir karosai, esant per dideliu jų individų skaičiui ir nepakankamiems maisto ištekliams, smulkėja, o prarėtinus jų eiles žvejojimu pradeda intensyviau augti. Nežvejojamų ežerų ūkinė vertė ne tik ne didėja, bet dar mažėja.

Žuvų pašarinės bazės kokybė. Žuvų pašarinė bazė ežeruose dažnai būna nepakankama. Organizmai, kuriais minta žuvis, kartais būna per mažai įvairūs, todėl iškyla reikalas juos papildyti introdukuotais iš kitur (kai kurių dugninių vėžiagyvių įveisimas Dusios ir Platelių ežeruose). Neigiamos įtakos žuvims turi ežerų zoobentosos periodišką kiekybinį svyravimą dėl chironomidų išskridimo vasaros mėnesiais. Tuo svarbesnis vaidmuo tada tenka dugniniams vėžiagyviams. Žiemą labai nuskursta planktonas ir bentosas, kada kaip tik intensyviai maitinasi ežerinės lašišinės žuvis. Kai kurie organizmai per giliai įsirausia į dumblą, todėl ne visų bentofaginių žuvų yra lengvai pasiekiami. Daugelyje ežerų priedugniniame vandens sluoksnyje būna ryškus deguonies trūkumas, dėl ko žiemą ir kartais vasarą pasireiškia ne tik žuvų trokšlius, bet ir bentosos organizmų žuvimas. Žuvis ir kiti organizmai žūva, nuleidžiant iš pramonės įmonių vandenis ir užteršiant jais ežero vandens masę.

Žuvų neršimo sąlygos. Žuvis išmeta ikrus ant žalių augalų arba ant jų negyvų liekanų, rečiau ant smėlio, žvirgždo, akmenų. Vertingų žuvų, kaip karšio ir starkio, neršimui tinkamų vietų skaičius ežeruose būna ne per didelis. Dar blogesnė padėtis yra rudenį neršiančių žuvų — seliavos ir syko. Jų neršimo vietos (smėlis, žvirgždas) dažnai būna uždumblėjusios, užterštos. Neršimo vietose intensyviai išgaudomi reproduktoriai, traukiamais tinklais naikinami jų ikrai. Daug ikrų ir jauniklių išnaikina ešeriai, pūgžliai, vėgėlės.

Kad pagerėtų vertingų žuvų neršimo sąlygos, įruošiamos tam tikos neršyklos: fitofilinėms žuvims — švarus augalinis substratas, panaudojant spygliuočių šakas ar kitus ilgai nepūvančius augalus, o litofilinėms — švarų žvirgždą, kuris iš anksto supilamas neršimui numatytose ežero litoralinės zonos vietose. Dirbtinės neršyklos yra mielai žuvų lankomos, ikrams vystytis jose yra labai palankios sąlygos. Dirbtinės neršyklos gali

būti panaudotos privilioti ir mažavertėms žuvisms bei jų ikrų naikinimui.

Priemonės vertingų žuvų kiekiui padidinti. Pirmą svarbi priemonė, siekiant padidinti vertingų žuvų kiekį, yra **žvejybos reguliavimas**. Šios priemonės tikslas yra išsaugoti pakankamą lytiškai surbendusių vertingos žuvies individų skaičių, būtina jos atsargoms atsinaujinti, o taip pat apsaugoti jaunikius nuo išgaudymo bei kovoti su vertingų žuvų konkurentais ir priešais.

Antrą svarbi priemonė, taikoma ežerų produktyvumui kelti, yra **žuvų gyvenimo sąlygų gerinimas** (melioracija) — ežero dujinio režimo gerinimas, kietosios augalijos pertekliaus naikinimas. Prisimintinas ir dirbtinių neršyklų įruošimas, o taip pat ir žuvų pašarinės bazės gerinimas.

Trečią priemonę — **naujų vertingų žuvų rūšių introdukcija ir aklimatizacija**. Žuvivaisos objektais privalo visų pirma tapti vietinės vertingos žuvų rūšys — sykas, seliava, karšis, starkis. Lietuvoje šie darbai jau pradėta vykdyti. Labai svarbus dalykas yra ungurio jaunikių įgabenimas iš Vakarų Europos.

Aklimatizacijos objektais Tarybų Sąjungos vidaus vandenyse panaudojamos įvairios žuvų rūšys — lašišinės, eršketinės, kai kurios karpinės ir kt. Mokslo įstaigų yra išdirbtas išsamus Tarybų Sąjungos ežerų ichtiofaunos pertvarkymo planas. Aklimatizacijos objektais Lietuvos ežeruose, be abejo, tinka būti ripusas, sažanas ir kai kurios kitos žuvys, o tolimesnėje perspektyvoje, gal būt, kai kurios Tolimųjų Rytų greit augančios augalėdės žuvų rūšys.

b) Medžioklė

Medžioklė kadaise ir daug kur yra ir šiandien — svarbi ūkio šaka, aprūpinanti gyventojus mėsa ir kailiais. Lietuvoje šiuo metu medžioklė yra išvirtusi daugiau į sporto šaką ir tokia ji laikytina, nors ir kalbama apie medžioklės ūkį.

Medžioklė, kaip ir žvejyba, dėl priemonių išsivystymo lengvai gali pasidaryti besaikiška, nekalbant jau apie brakonierius ir jų „medžiojimą“. Apie žvejybą ir medžioklę galima pasakyti tą patį, būtent: racionali, saikinga žvejyba ir medžioklė yra naudingos.

Lietuvos ežeruose sezono metu daugiausia medžiojamos antys. Medžiojami ir laukiai, bet tai yra mažavertis medžioklės objektas. Žąsys, o juo labiau gulbės, neliečiamos, nes jų esama tik mažo skaičiaus. Iš plėšriųjų paukščių yra žalingos tik kai kurios rūšys, pavyzdžiui, nendrinė lingė.

Kai kuriuose ežeruose įveisti bebrai, kurie anksčiau buvo visai išnaikinti. Daugelyje ežerų labai paplito ondatros, kurių senoji tėvynė yra Šiaurės Amerika. Tai vis labai vertingi kailiniai žvėrys. Udrų kailiai taip pat labai brangūs, todėl šių žvėrelių medžioklė labai prižiūrima. Bebrai ir ondatros dar nemedžiojami. Be to, kai kuriuose Lietuvos ežeruose gausiai veisiasi vėžiai. Tai sudaro pagrindą specialiai ūkio šakai — vėžiavimui.

c) Susisiekimas ir transportas

Lietuvoje susisiekimui ir transportui ežerai panaudojami ne per daugiausia, bet pasaulyje šiuo atžvilgiu ežerai labai reikšmingi. Prisiminkime, kad į svarbiausių kanalų — Sueco, Panamos — sistemą įeina ežerai ir ten vaidina labai svarbų vaidenį. Taip pat ežerai įeina ir į Baltosios—Baltijos jūros kanalo sistemą. Susisiekimui ir transportui ežerai ypačiai reikšmingi, kur jų tanku, pavyzdžiui, Suomijoje ir Šiaurės Amerikoje. Reikšmingi jie ir kalnuotose šalyse, pavyzdžiui, Šveicarijoje. Ženevos ežeras jungia du didelius miestus — Ženevos ir Lozanos. O kiek tas ežeras jungia mažų gyvenviečių!

Susisiekimas ir transportas vyksta ne vien atviru vandeniu, bet žiemą ir ledu. Baikalo ežero ledu nutiesiami bėgiai ir leidžiami traukiniai. Ladogos ežero ledu vyko Leningrado susisiekimas ir transportas hitlerinės blokados metu. Ledo keliai labai naudojami Suomijoje, o daug kur ir Lietuvoje, pavyzdžiui, Žuvinto ežero ledo keliu. Sartų ežere prie Dusetų net vyksta ant ledo žirgų lenktynės.

d) Gyventojų aprūpinimas vandeniu; ledo panaudojimas

Tik pavarčius vieną kitą žemėlapij ir atkreipus dėmesį į ežerus, galima pastebėti, kad prie jų yra įsikūręs ne vienas miestas. O kiek prie jų yra įsikūrę kaimų ir šiaip mažų gyvenviečių. Be abejo, tiems miestams ir kaimams ežero vanduo yra gyvybiškai reikšmingas tiek buitinių, tiek pramoninių reikmių atžvilgiu.

Vanduo ir pirminį žmogų vertę glaustis prie ežero ir prie jo kurtis.

Savaime aišku, kad tie miestai, kur susikūrę prie ežero, apsirūpina ne vien ežero vandeniu, bet ir ledu.

Lietuvoje ežero vanduo ir ledas miestams aprūpinti panaudojamas ne per dažniausiai.

e) Ežerai ir melioracija

Ežerai neretai panaudojami melioracijos reikalams. Neretai melioraciniais sumetimais jie būna nuleidžiami, visai ar iki tam tikro lygio. Pavyzdžiui, ligi tam tikro lygio buvo nuleisti Skaisčio ir Galvės ežerai, Daugų ir Lėno ežerai, o beveik visai yra nuleistas Biržulio ežeras.

Šiuo atveju tarp limnologų bei apskritai gamtininkų ir melioratorių iškyla nesutarimo. Mat, toks nuleidimas susiaurina ar visai panaikina seną litoralinę zoną, o drauge daug patogių nerštaviečių. O ištisas ežero nuleidimas sunaikina gyvenamąją erdvę ne tik žuvims, bet ir paukščiams. Gamtininkai ypačiai nepatenkinti Biržulio ežero nuleidimu. Buvo gražus, žuvingas ežeras, o dabar jis paverstas liūnu: vietoje ežero telkšo didžiulė nenaudinga pelkė, apsupta šiuo tarpu skurdžių pievų. Gamtininkai kelia klausimą: ar vertėjo sunaikinti šį gana produktinę ežerą, nekalbant jau apie tai, kad jis buvo landšafto papuošalas? Į šį klausimą atsakoma, kad geriausiu atveju tai padaryta per anksti. Numatomas nuleisti ir Žaltyčio ežeras (Sūduvos ežeryne, netoli Šeštokų). Šiame ežere, kaip ir Žuvinto, yra susikūręs tikras paukščių rojus. Gamtininkams jo gaila. Iš tikro, ar nevertėtų Žuvinto rezervatą praplėsti — priskirti prie jo Amalvo ir Žaltyčio ežerus ar bent uždrausti juose medžioti? Dabar tie patys paukščiai Žuvinto ežere saugojami, o už kelių žingsnių Amalvo ežere šaudomi.

Šiaip ar taip, čia turima reikalo su labai opiu ir painiu klausimu. Atsargumas čia jokių atveju negali pakenkti. Ypačiai atsargiai, apdairiai reikia elgtis ten, kur ežerų mažai yra, būtent, vakarų ir vidurio Lietuvoje. Hidromelioratorių sumetimus reikia derinti su geografo ir biologų mintimis, kad būtų išvengta rimtų klaidų, kad būtų išlaikyta ir apsaugota Lietuvos fauna.

f) Ežerai ir gamyba

Lietuvos TSR ežerai palyginti maži ir juose šiuo tarpu žuvis sugaunama, kaip matėme, ne per daugiausia: vidutiniškai po 6 kg iš ha per metus. Tikimasi po ežerų biologinės melioracijos sugauti vidutiniškai po 20 kg iš ha per metus. Bet ir tuo atveju žuvis turės reikšmės tik maisto ištekliams, o ne maisto pramonei, kuriai reikalingi didesni žuvies kiekiai. O tokius kiekius gali duoti tik dideli ežerai. Reikšmingiausi šiuo atžvilgiu Tarybų Sąjungos ežerai — Kaspijos jūra, Aralo jūra, Baikalo ež. ir kt. Garsi Kaspijos silkė — Kaspijos juodnugarė.

Iš kai kurių ežerų gaunama valgomoji druska, ypačiai iš Baskunčiako ir Eltono ežerų.

Cheminei pramonei nepaprastai reikšminga Kaspijos jūros įlanka Kara-Bogaz-Golas; iš jo gaunama daug įvairių druskų. Žinomiausia iš jų — glauberio druska, arba mirabilitas.

Ežerinės nuosėdos, kaip gera trąša, gali būti reikšmingos ir žemės ūkiui.

Rafinuoti sapropeliai (atskirti nuo nuodingų medžiagų — geležies ir kitų sulfidų) gali būti panaudoti sudėtinei gyvulių pašaro dalimi.

g) Ežerai ir energetika

Kai kurie ežerai panaudojami didžiajai energetikai, pavyzdžiui, Sevano ežeras; galima sakyti ir Baikalo, nes Angaros upė kaip tik daugiausia vandenų gauna iš jo.

Lietuvoje ežerai bandoma panaudoti mažajai energetikai. Aiškiausias pavyzdys — hidroelektrinė „Tautų draugystė“ prie Drūkšių ežero. Ši hidroelektrinė reikšminga visai eilei Lietuvos, Baltarusijos ir Latvijos kolūkių.

Ežerų baze sudaryti dar Antalieptės, Gondingos, Aukštadvario HES tvenkiniai. Tokie tvenkiniai beveik visiškai išlygina metinį nuotėkį.

Kad ežerus būtų galima panaudoti energetikai, reikalingas vandens aukščių skirtumas. Pavyzdžiui, Suomijoje ežerų plynaukštė užima daugiau kaip trečdalį šalies teritorijos. Atrodo, kad energijos šaltiniai čia turėtų būti dideli. Iš tikrųjų ne visai taip. Plynaukštės centrinėje ir pietinėje dalyje ežerų paviršių aukščiai nuo jūros lygio skiriasi ne daugiau kaip 10–20 m, todėl šiose dalyse pratakų nuolydžiai ar laiptai juose nedideli,

taigi ir hidroenergijos ištekliai ne per didžiausi. Ežerų plynaukštės šiaurės vakaruose ir šiaurės rytuose ežerų aukščiai skiriasi daug žymiau (ligi 50 m.), tai ir pratakose laiptai aukštesni, o drauge ir energijos ištekliai daug didesni.

Lietuvoje nors ežerų paviršių aukščių skirtumai ne per dideli, vis dėlto daug kur bus galima ežerus energetikos reikams panaudoti.

h) Ežerai ir sveikata

Kurortuose dažnai tam tikri susirgimai gydomi neorganiniais ir organiniais purvais, imamais iš jūrų, limanų ir ežerų. Kai kada iš ežerų terapiniais sumetimais purvai imami ir Tarybų Lietuvoje.

Lietuvoje, žinoma, ir kitose tarybinėse respublikose, kaip ir užsienio šalyse, ežerai sveikatos reikams panaudojami ir kitu būdu, tarpininkaujant sportui. Nekalbant apie kasmetines arklių lenktynes ant ledo Sartų ežere palei Dusetas, Galvės ežere ir Kauno mariose plačiai išsivystė irklavimas ir buriavimas. Pastaroji sporto rūšis priklauso daugiau jūrai negu ežerui. Seniau visas susisiekimas jūromis ir net vandenynais vyko buriniais laivais. Daug kur dar ir šiandien buriniai laivai ir laiveliai panaudojami žvejybai. Tačiau burių panaudojimas susisiekimui ir žvejybos reikams vis mažėja, ir jos liekasi reikalingos visų pirma buriavimo sportui. Reikia tikėtis, kad šis sportas Lietuvoje plis ir jam bus panaudoti visi kiek didesni ežerai. Aiškus dalykas, kad konkurencija su jūra neįmanoma, nes jūroje daugiau erdvės, taisyklingesni vėjai.

Ežerai, ypačiai žinomesni, labai lankomi turistų.

Kurortinėmis vietomis apylinkėse ypačiai pasižymi Alpių ežerai, prie kurių priskirtini Ženevos ir Bodeno. Bet jie reginių grožiu ir veiksmingumu sveikatai jokių būdu negali susilyginti su Kirgizų jūra — Isik-Kulio ežeru.

2. PRAKTINĖ EŽEROTYRA

a) Metodai

Praktinėje limnologijoje nagrinėjami metodai, kuriuos limnologai, teoretikai ir praktikai, taiko, ežerus tyrinėdami, o taip pat aprašomos priemonės, kuriomis limnologai naudojami. Tie metodai gausūs ir įvairūs. Pažymėsime pačias svarbiąsias jų rūšis.

Pirmąją rūšį sudaro hidrografiniai metodai. Kai kuriuose svarbiausią vaidmenį vaidina geodezija su savo įvairiais instrumentais. Svarbiausi hidrografinių darbų uždaviniai: ežero kontūro nustatymas, batimetrinio plano sudarymas, vandens lygio svyravimų žymėjimas (limnimetrija).

Toliau eina fiziniai metodai. Jais tiriama vandens temperatūra, spalva, tiriamas skaidrumas, tiriami vandens judesiai.

Dar toliau eina cheminiai metodai.

Pagaliau — biologiniai. Biologai savo metodais tiria ežero florą ir fauną, planktoną ir kt.

Darbai atliekami lauke ir kabinete ar laboratorijoje. Pirmieji vadinami lauko darbais, o antrieji — kameriniais ir laboratoriniais.

Keletą tokių darbų, kaip pavyzdinių, pažymėsime.

1. Ežero ilgio ir pločio nustatymas.
2. Gylių matavimas.
3. Ežero paviršiaus ir izobatinių paviršių ploto nustatymas; batigrafinės kreivės sudarymas.

4. Ežero tūrio skaičiavimas iš batigrafinės kreivės ir formulų; tūrių kreivės ir tūrių skalės sudarymas.

5. Šilumos atsargų ežere nustatymas.

6. Hidrologinio balanso skaičiavimas.

7. Bangų elementų nustatymas.

Ir t. t.

Bet visų darbų svarbiausias — tikslus susipažinimas su prietaisais, jų tausojimas ir prižiūrėjimas. Prižiūrėti prietaisai ne tik kad ilgiau laiko, bet ir tikslesnius duomenis duoda.

Detalus darbų, metodų, priemonių ir prietaisų nagrinėjimas šią knygą labai išplėstų, o tam mes neturime nei laiko, nei vietos.

Antra, nėra ir reikalo, nes ežerai šiandien tyrinėjami kompleksškai, t. y. ne vienu geografų, bet drauge ir daugelio kitų sričių specialistų — hidrologų, biologų, ekonomistų, o kiekvienas specialistas jam reikalingų žinių randa hidrologijos, biologijos ir kituose specialiuose kursuose.

Pagaliau trečia — tyrinėjimo metodai esmingai nušviečiami įvairiose tyrinėjimų instrukcijose, su kuriomis netrukus susipažinsime.

b) Instrukcijos

Kiekvienas specialistas tyrinėdamas turi matyti ne tik kurią nors ežero dalį ar sritį, bet vis akyse turėti ežero visumą: ir ežero vandens masę, ir ežero dubenį, o svarbiausia — ežero aplinką, kuri sąlygoja procesus, vykstančius ežere (fizinius, cheminius, hidrobiologinius). Nepamirština ir žmogaus veikla. Kiekvienas specialistas turi jaustis, jog jis dirba ne atskirą, bet bendrą darbą, kad jis turi derintis prie kitų specialistų, juos remti, jų pastangas papildyti ir jomis naudotis.

Tokiai specialistų pastangų koordinacijai reikalingos tam tikros instrukcijos, kurių tyrinėtojai griežtai turi laikytis. Tokios instrukcijos reikalas iškilo pačioje mokslinio ežerų tyrinėjimo pradžioje. Pirmą tokią instrukciją sudarė F. A. Forelis ir išleido 1886 metais. Forelio instrukcija buvo išversta į rusų kalbą. Antrasis jos leidimas pasirodė 1904 metais.

Forelio instrukcijos apimtis — 24 spausdinti puslapiai. Instrukcijoje kalbama 1) apie gruntų tyrimą, 2) apie vandens masės tyrimą, 3) vandens temperatūros, 4) vandens skaidrumo, 5) vandens spalvos, 6) faunos ir floros, 7) seišų, 8) apie limnimetrinius tyrimus, 9) apie meteorologinius duomenis, 10) apie geografinius ežerų elementus (morfometrija).

1908 metais pasirodė Nuolatinės Rusijos ežerų tyrimo komisijos instrukcija (V. Obručev). Jos apimtis — 35 spausdinti puslapiai. Turi omenyje visų pirma geologiją. V. Obručev instrukciją papildė ištisa eilė pamokymų ir instrukcijų apie ežero plano sudarymą ir ežero apibūdinimą fiziniu geografiniu atžvilgiu, apie gruntų tyrimą, apie vandens masės dujingumo tyrimą, apie ežerų prižėlimą, apie florą, apie bakterijas, planktoną, vabzdžius, žuvis, pagaliau apie ežerą ekonominiu požiūriu.

1914 m. Peterburge Mokslų akademijos paliepimu buvo išleista trumpa, bet labai turininga instrukcija, kaip stebėti jūrų ir ežerų lygio svyravimus.

Lietuvoje ligi 1948 metų daugelio ežerotyrininkų buvo prisi-
laikoma tokio tyrinėjimų plano:

- I. Fizinė geografinė ežero baseino charakteristika
 1. Reljefas (orografija)
 2. Geologinė charakteristika (geomorfologija)
 3. Dirvožemiai
 4. Augalinė danga
 5. Hidrografinis tinklas

II. Klimatas

1. Vėjai
2. Oro temperatūra
3. Oro drėgmė
4. Krituliai
5. Debesuotumas
6. Sniego danga
7. Pūgos
8. Audros

III. Dubens morfologija ir morfometrija

1. Horizontalinis (izobatinis) skaidymas
2. Ežero kontūrai
3. Bendra krantų charakteristika
4. Dugno reljefas
5. Salos

IV. Gruntai

1. Gruntų frakcijos pagal mechaninę analizę
2. Cheminė gruntų sudėtis

V. Fiziniai ir cheminiai ežero vandens savumai

1. Vandens spalva
2. Vandens skaidrumas
3. Vandens chemizmas

VI. Terminis režimas

1. Mėnesiniai paviršinio vandens temperatūros vidurkiai
2. Vertikalinis temperatūros pasiskirstymas vandenyje
3. Metinė temperatūros eiga

VII. Ledo režimas

1. Ežero užšalimas
2. Ledo dangos formavimosi pobūdis
3. Ledo dangos storis
4. Ežero nuo ledo atsipalaidavimas

VIII. Lygio režimas

1. Lygio svyravimai metų būvyje
2. Sezoninių lygio fazių charakteristika
3. Vandeningi ir nevandeningi metai

IX. Vandens balansas

1. Vandens pajamos
2. Vandens išlaidos

X. Srovės

1. Srovės nuo intakų ir dėl ištako
2. Srovės dėl vėjo

Po 1948 metų imta laikytis tais pačiais metais Tarybų Sąjungoje išleistos instrukcijos, pavadintos «Наставление гидрометеорологическим станциям и постам, Выпуск 7, Гидрологические наблюдения на озерных станциях».

1957 metais išėjo pilnesnis leidimas, perskirtas į dvi dalis: pirmojoje dalyje kalbama apie hidrologinius stebėjimus ežeruose ir tvenkiniuose, o antrojoje — apie stebėjimus, kaip vanduo garuoja nuo ežero ar tvenkinio paviršiaus.

Įdomu palyginti abu leidinius: ir 1948, ir 1957 metų. Labai krinta į akis didžiulė pažanga tiek apimties, tiek turinio atžvilgiu.

1957 m. leidimo I dalis sudaryta iš 11 skyrių. Juos išrašysime, ir tai bus mums tolesnio praktinio darbo gairės.

I. Specializuotų limnologinių stočių ir hidrologinių postų darbo bendrieji nuostatai.

II. Limnologinių stočių ir postų organizacija.

III. Bendri nurodymai, kaip reikia stebėti ir doroti surinktą medžiagą.

IV. Meteorologiniai stebėjimai limnologinėse stotyse ir postuose.

V. Vandens lygio stebėjimai.

VI. Vandens temperatūros stebėjimai.

VII. Vandens skaidrumo ir spalvos stebėjimai.

VIII. Hidrocheminiai stebėjimai.

IX. Vėjo sukulto bangavimo stebėjimai.

X. Ledo režimo stebėjimai.

XI. Srovių stebėjimai.

Prie I dalies pridėti 22 priedėliai, kuriuose pateiktos įvairios praktikai reikalingos žinios.

Instrukcijas paremia, jų turinį išplečia ir išaiškina specialūs praktinės hidrologijos ir praktinės limnologijos kursai, iš kurių pažymėtini E. V. Blizniako ir Paul S. Velčo. Pirmasis autorius 652 puslapių veikale aprašo įvairius hidrologinius stebė-

jimus,— ir upių, ir ežerų, o antrasis — daug mažesniame veikale (381 psl.) rašo daugiausia apie ežerus, ypatingą dėmesį kreipdamas į biologinį aspektą.

BAIGIAMASIS ŽODIS

Susipažinome su bendrosios, regioninės, arba lyginamosios, pagaliau su taikomosios ir praktinės limnologijos pradmenimis, su pačiomis svarbiosiomis ežerotyros žiniomis. Padarę įžangą į taikomąją ir praktinę limnologiją, patenkinome vieną iš pagrindinių reikalavimų: kad teorija kiltų iš praktikos ir grįžtų vėl prie praktikos.

Manau, kad mano skaitytojams, apsiginklavusiems tam tikru kiekiu žinių apie ežerus, praktika seksis geriau, darbas vyks sklandžiau, nuosekliau.

Bet įsigytų iš šios palyginti nedidelės knygos žinių visapusiškai išvystyti praktikai toli gražu nepakanka. Jos būtinos, bet nepakankamos. Taigi, kas studijuotina toliau?

Visų pirma studijuotinos instrukcijos — Forelio, Obručevo ir visos kitos. Toliau studijuotini ežerotyros kursai — Forelio, Bogoslovskio ir Muraveiskio, Bogoslovskio, Zaikovo, Rutnerio, Velčo, Hatčinsono ir kt. Studijuotina visa, kas nurodyta panaudotos literatūros sąrašė.

Tuo sąrašu naudojantis, reikia vis omenyje turėti, kad jame sužymėta ne visa limnologinė literatūra, o tik svarbesnioji. Kita limnologinė ir reikalinga okeanologinė literatūra nurodyta sąrašė paminėtuose veikaluose.

Ypačiai reikia domėtis naujai pasirodančia ežerotyrene literatūra tiek bendrais, tiek specialiais klausimais. Šiuo metu aktualesios temos — apie dirbtinius ežerus, tvenkinius. Svarbiausios problemos — kova su uždumblėjimu, krantų formavimas, apgyvendinimas liaudies ūkiui naudingais hidrobiontais — žuvimis, vėžiagyviais.

Kad reikia sekti pažangą, kiek ji liečia ežerus, ne vien geografijos ar klimatologijos, bet ir hidrologijos, hidrometrijos, hidrofizikos, hidrochemijos, o ypačiai hidrobiologijos, joks priminimas nėra reikalingas. Kas savo specialybės naujienų neskaita, tas bematant ima atsilikti.

Kur ir kaip iš kurso ir iš literatūros įsigytos žinios taikytinos Lietuvoje šiandien, labai ryškiai nušviečia mokslinės

konferencijos, skirtos Lietuvos TSR 20-mečiui pažymėti, vykusios Vilniuje 1960 m. balandžio 11—12 d., limnologinės sekcijos nutarimas, paskelbtas „Geografinio metraščio“ 1960 metų tome. Tai dokumentas, į kurį reikia kreipti kuo daugiausia ir kuo rimčiausio dėmesio. Jo išvadinę dalį, su skaitytojais atsisveikindami ir linkėdami jiems sėkmės, pakartojame.

Mokslinės konferencijos limnologinės sekcijos nutarimo išvadinė dalis (1960).

Gautieji tyrimų rezultatai ir liaudies ūkio poreikiai kelia tolesniems Lietuvos limnologiniams tyrimams naujus uždavinius, kuriems spręsti reikalinga glaudesnio visų limnologų bendradarbiavimo, tikslesnio darbų koordinavimo ir racionalesnio vykdomų tyrimo darbų pasiskirstymo, o taip pat limnologinių tyrimų apimties praplėtimo. Limnologinė sekcija atžymi, kad svarbesni Lietuvos ežerotyros uždaviniai dabartiniu metu yra šie:

1. Teorijai ir praktikai yra labai svarbus ežerų krantinės ir priekrantinės zonos formavimosi ir vystymosi dėsningumų išaiškinimas. Todėl būtina artimiausioje ateityje praplėsti tai problemai tyrimo metodiką, organizuoti prie kai kurių ežerų stebėjimo postus bangų elementams matuoti, bangavimui kartografuoti, kietos medžiagos pernešimo intensyvumui ir kitiems procesams, susijusiems su krantų dinamika, stebėti.

2. Skatinti geomorfologus, geologus kvarteristus, pelkėtyrininkus, panaudojant klimatologų ir hidrologų sukaupimą medžiagą, toliau tęsti ežerų dubenų genezės ir ežerų vystymosi tyrimus, kaip visų limnologinių tyrimų galutinę stadiją.

3. Tiksliai apskaičiuoti respublikos ežerų vandens resursus. Tam reikalui būtinai reikalinga tęsti batimetrinius matavimus, išplėsti hidrologinių stebėjimų ežeruose postų tinklą, vykdyti ežerų vandens balanso skaičiavimą.

4. Pribrendo reikalas plačiau tirti visus ežerų mitybos šaltinius, ypač gruntinių vandenų masės įtaką gruntinių vandenų režimui. Pribrendo reikalas spręsti ežerų vandens infiltracijos problemą ir kitus hidrogeologijos klausimus.

5. Rekomenduoti Lietuvos TSR Hidrometeorologinės Tarnybos valdybai išplėsti ežerų vaidmens upės nuotėkio transfor-

macijai ir nuotėkio reguliavimui tyrimus, plačiau įdiegiant ekspedicinių tyrimų metodus.

6. Pradėti ir išvystyti garavimo nuo vandens paviršiaus tiesioginius matavimus, tuo tikslu įrengiant Dusios, Trakų, Juodojo Lakajų ir Masčio ežeruose garinimo baseinus. Prašyti Hidrometeorologinės Tarnybos valdybą įpareigoti minėtų ežerų matavimo postus vykdyti garavimo stebėjimus.

7. Terminis, hidrodinaminis ir cheminis ežerų režimas, jo priklausomumas nuo geografinės aplinkos sudaro pagrindą organizmų gyvenimui ir ežerų vystymuisi. Dėl to reikia būtinai vykdyti vandens paviršiaus ir gylių vertikalėse temperatūrinius ir kitų limnologinių charakteristikų matavimus, spręsti vandens cirkuliacijos, vandens sąmaišos klausimus.

8. Tirti pagrindinį ežerų procesų energijos šaltinį — saulės radiaciją, ežero šiluminio balanso komponentus, jų kitimą metų būvyje.

9. Iki šiol labai mažai buvo kreipiama dėmesio į ežerų optinių reiškinių tyrimus, tuo tarpu šviesos energija yra labai svarbus faktorius įvairiems biocheminiams procesams. Sekcija rekomenduoja Lietuvos TSR MA Geologijos ir geografijos instituto ežerotyros grupei kartu su VVU Gamtos mokslų fakulteto geografais ir klimatologais matuoti saulės radiaciją ežerų paviršiuje ir giluminiuose vandens sluoksniuose, tirti absoliutinį ir reliatyvų vandens skaidrumą ir spalvą. Ežerų savitos spalvos nustatymas yra svarbi priemonė humatų kiekiui rasti ir tuo pačiu ežerų išsivystymo laipsniui preliminariai nustatyti.

10. Rekomenduoti Lietuvos TSR MA Botanikos, Zoologijos ir parazitologijos institutų darbuotojams ir VVU Gamtos mokslų fakulteto biologams toliau tęsti ežerų floros ir faunos tyrimus išaiškinant organizmų ekologines sąlygas, jų geografinio pasiskirstymo dėsningumus, biomasės kitimą metų būvyje, jos kitimą ryšium su bendru ežerų vystymusi. Spręsti ichtiofaunos rekonstrukcijos klausimus, praturtinant Lietuvos ežerus vertinomis žuvimis.

11. Rekomenduoti Lietuvos TSR MA Geologijos ir geografijos instituto spropelių laboratorijai kartu su kitomis atitinkamomis gamybinėmis organizacijomis plėsti ežerinių nuosėdų atsargų tyrimus, išaiškinant jų mineraloginį, biologinį ir cheminį sąstatą, nuosėdų pasiskirstymo dėsningumus ir jų sedimentacijos sąlygas.

12. Prašyti Lietuvos TSR MA Prezidiumą artimiausiu laiku Geologijos ir geografijos instituto sistemoje organizuoti limnologinę stotį.

13. Paveisti Lietuvos TSR MA Geologijos ir geografijos instituto direktoriui organizuoti limnologinių tyrimų koordinacijos komisiją, kviečiant nariais iš VVU Gamtos mokslų fakulteto, Botanikos, Zoologijos ir parazitologijos institutų, Lietuvos TSR Hidrometertarnybos valdybos ir kitų mokslo įstaigų darbuotojų tarpo.

PANAUDOTA LITERATŪRA

- Bieliukas K., a) Dovinės baseino ežerai, Kaunas, 1937; b) Svarbesniųjų ežero morfometrijos rodiklių matematinis pagrindimas, Geografinis metraštis, 1958 (I).
- Bieliukas K. ir Chomskis V., Pagrindinės žinios apie ežero vandens sūmaišą, Geografinis metraštis, 1959 (II).
- Bieliukas K., Garunkštis A., Chomskis V., Dėl ežerų genezinės klasifikacijos, Geografinis metraštis, 1960 (III).
- Bieliukas K. ir Krikščiūnas J., Lietuvos TSR ežerų katalogas, rankraštis, Lietuvos TSR MA Geologijos ir geografijos institutas, Vilnius, 1953.
- Borisovas A. A. ir kt., Suomija, Vilnius, 1956.
- Bunikis A., Platelių ežero hidrocheminis režimas, Lietuvos TSR MA darbai, serija B, 2 (18), 1959.
- Bunikis A. ir Klimkaitė I., Kai kurie duomenys apie Lietuvos ežerų hidrochemiją, Straipsnių rinkinys XIX Tarptautiniam geografų kongresui, Vilnius, 1960.
- Chomskis V., a) Ežerų morfometrijos klausimu, Lietuvos TSR MA darbai, serija B, 3, 1956; b) Pagrindinės ežero vandens masės dinaminės sąlygos ir jo dubens forma, Geografinis metraštis, 1960 (III).
- Chomskis V., Bieliukas K., Stanaitis A., Lietuvos TSR ežerų geografinis pasiskirstymas, Lietuvos TSR MA darbai, serija B, 3 (15), 1958.
- Chomskis V. ir Skeliovaite F., Kai kurie Lietuvos TSR rinų rininių ežerų morfomografiniai bruožai, Lietuvos TSR MA darbai, serija B, 2, 1957.
- Daugų ežero botaniniai tyrimai, Vilniaus Valstybinio Universiteto Mokslo darbai, Gamtos ir matematikos mokslų serija, II tomas, 1954.
- Eidrigonis M., 500 km Lietuvos ežerais, Kaunas, 1940.
- Garunkštis A., a) Dėl glacigeninių rininio tipo formų Lietuvos TSR teritorijoje išsidėstymo bei kilmės, Lietuvos TSR MA darbai, serija B, 2, 1956; b) Vandens srovių įtaka Lietuvos TSR ežerų atabrado formavimuisi, Lietuvos TSR MA darbai, serija B, 1, 1958; c) Lietuvos TSR teritorijoje žinomų ežerinių nuosėdų klasifikacijos klausimu, Lietuvos TSR MA Geologijos ir geografijos instituto Moksliniai pra-

- nešimai, VI t., 1958; d) Lietuvos ežerų hidrografiniai ryšiai, Geografinis metraštis, III t., Vilnius, 1960.
- Garunkštis A. ir Stanaitis A., a) Vilkokšnio ežero raida vėlyvajame ledynmetyje ir poledynmečio pradžioje, Lietuvos TSR MA Geologijos ir geografijos instituto Moksliniai pranešimai, IX t., Vilnius, 1959; b) Dusios, Metelio, Obelijos ežerų dubens kilmės klausimu, X t., 2 sąs., Vilnius, 1959.
- Gasiūnas I., a) Bandymas Kuršių marių *Corophium curvispinum* perkelti į ežerus, Lietuvos TSR MA darbai, serija B, 5, 1956; b) Kai kurie Dusios ežero dugno gyvūnijos biologijos bruožai, Lietuvos TSR MA darbai, serija B, 4 (1957); c) Platelių ežero syko maisto bazė ir jos rekonstrukcijos klausimas, Lietuvos TSR MA darbai, serija B, 3 (15), 1958; d) Lietuvos ežerai, kuriuose gyvena reliktiniai vėžagyviai, Mūsų girios, 1959, Nr. 3; e) Žuvis naujuosiuose baseinuose, Mokslas ir gyvenimas, 1961, 5, p. 11.
- Gudelis V., a) Lietuvos TSR Baltijos pajūrio geologinės raidos vėlyvajame glaciale ir postglaciale (holocene) pagrindiniai etapai, VVU Mokslo darbai, VII t., Vilnius, 1955; b) Vėlyvojo kvarteto stratigrafijos ir paleogeografijos klausimai Europoje ir Šiaurės Amerikoje naujausiais duomenimis, Geografinis metraštis, I t., Vilnius, 1958.
- Gudelis V. ir Kabailienė M., Alerodinis ir priešalerodinis laikotarpiai Lietuvoje Nopaičio pelkės palinologinių tyrimų šviesoje, Lietuvos TSR MA Geologijos ir geografijos instituto Moksliniai pranešimai VI t., Vilnius, 1958.
- Geografinis metraštis, Vilnius, 1958 (I), 1959 (II), 1960 (III).
- Ivanauskas T., a) Lietuvos paukščiai, I kn. 1938, II — 1949, III — 1955; b) Kodėl dūsta žuvis žiemą, Mokslas ir gyvenimas, 1961, 1, p. 14.
- Ivanauskas T. ir kt., Lietuvos gėlių vandenų žuvis, Vilnius, 1956.
- Kalesnikas S. V. Bendrosios geografijos pagrindai, Vilnius, 1950.
- Klimkaitė I., Kryžiuočių ežero hidrocheminis ir terminis režimas, Lietuvos TSR MA Geologijos ir geografijos instituto Moksliniai pranešimai, X t., 2 sąs., Vilnius, 1959.
- Lietuvos TSR fizinė geografija, I, red. A. Basalykas, Vilnius, 1958.
- Mačionis A., Lietuvos TSR vandenų žuvų fauna ir jos kryptingas formavimas, rankraštis, Vilnius, 1955.
- Maniukas J., Netrukdykime žuvims neršti, Mokslas ir gyvenimas 1961, 4, p. 32.
- Martonne'as Em. de, Fizinės geografijos pagrindai, I t., 1948; II t. 1949.
- Pečiulienė O., Apie Trakų ežerų zooplanktoną, Lietuvos TSR MA darbai, serija B, 1 (13), 1958.
- Straipsnių rinkinys XIX Tarptautiniam geografų kongresui, red. V. Gudelis, Lietuvos TSR MA Geologijos ir geografijos institutas, Vilnius, 1960; taip pat — Tarptautinio geologų kongreso XXI sesijai
- Valius M., Lietuvos vandenų ir pelkių paukščiai, Lietuvos TSR MA Zoologijos ir parazitologijos institutas, Vilnius, 1960.

- Vasiliauskienė M., Atabrady upatumai skirtingų genetinių tipų ežeruose (Sūdovos aukštumoje), Lietuvos TSR MA Geologijos ir geografijos instituto Moksliniai pranešimai, X t., 2 sąs., Vilnius, 1959.
- Volkskis R., Žuvininkystė ežeruose, Vilnius, 1959.
- Алекин О. А., а) Гидрохимия, Ленинград, 1952; б) Основы гидрохимии, Ленинград, 1953.
- Андреева В. М., Австралия, Москва, 1956.
- Анучин Д. Н., Воды суши. Озера, «Землеведение», т. III, кн. 2 (приложение), 1896.
- Барков А. С., Словарь-справочник по физической географии, изд. 3-е, Москва, 1954.
- Березина Н. А., Гидробиология, Москва, 1953.
- Берг Л. С., а) Аральское море, 1908; б) Байкал, его природа и значение в народном хозяйстве, Москва, 1948.
- Близняк Е. В., Водные исследования, Москва, 1952.
- Богословский Б. Б. и Муравейский С. Д., Очерки по озероведению, 1955.
- Богословский Б. Б., Озероведение, Москва, 1960.
- Великанов М. А., Гидрология суши, четвертое издание, Ленинград, 1948.
- Верещагин Г. Ю., Методы мерфометрической характеристики озер, Труды Олонекской научной экспедиции, Часть II, География, Выпуск 1, Ленинград, 1930.
- Воейков А. И., Климаты земного шара, 1884.
- Вопросы голоцена, Сборник статей к VI Международному конгрессу ИНКВА в Варшаве 1961, редакторы М. И. Нейштадт и В. К. Гуделис, Вильнюс, 1961.
- Гарункшис А., Замечания по восстановлению палеогидрологического режима некоторых озер Литовской ССР, Сборник тезисов III Всесоюзного гидрологического съезда, Ленинград, 1957.
- Герд С. В., Озера Карело-Финской ССР и их рыбные богатства, Издание 2-ое, заново переработанное, Петрозаводск, 1951.
- Григорьев С. В., Внутренние воды Карелии и их хозяйственное использование, Петрозаводск, 1961.
- Гуделис В., Основные черты стратиграфии и палеогеографии Литвы, Институт геологии и географии АН Литовской ССР, Научные сообщения, т. IV, 1957.
- Давыдов Л. К., а) Гидрология СССР (воды, суши), Часть I, Общая характеристика вод, Ленинград, 1953; б) Часть II, Гидрография районов, Л., 1955.
- Дзенс-Литовский А. И., Геолого-географические закономерности распространения пресных, солоноватых и соляных озер, Труды III Всесоюзного гидробиологического съезда, том IV, секция озер и водохранилищ, Ленинград, 1959.
- Дружанов В. и Слоним И., По озерам нашей родины, Москва—Ленинград, 1952.
- Дрягин П. А., Биологические основы реконструкции рыб в озерах СССР, Москва, 1956.

- Зайков Б. А., а) Очерки по озероведению, Ленинград, 1955; б) Вторая часть, 1960.
- Зубов Н. Н., Динамическая океанология, Москва—Ленинград, 1947.
- Иванов П. В., Классификация озер мира по величине и по их средней глубине, Научный бюллетень ЛГУ, № 21, 1949.
- Инструкция для исследования озер, составлена членами Постоянной Комиссии по изучению озер России, С.-Петербург, 1908.
- Инструкция для производства наблюдений над колебаниями уровня морей и озер, напечатана по распоряжению Императорской Академии Наук, Петербург, 1914.
- Итоги рыбохозяйственного исследования озер Литовской ССР за 1952 и 1953 годы, рукопись, Институт биологии АН Литовской ССР и Всесоюзный научно-исследовательский институт озерного и речного хозяйства (ВНИОРХ), Вильнюс, 1954.
- Латвийская ССР, под ред. Я. Ф. Бумбара и П. М. Алампиева, Рига, 1956.
- Лепнева С. Г., Жизнь в озерах. Жизнь пресных вод СССР, под ред. Е. Н. Павловского и В. И. Жадиной, Москва—Ленинград, 1950.
- Липин А. Н., Пресные воды и их жизнь, Москва—Ленинград, 1926; Издание третье, переработанное, Москва, 1950.
- Литинский Ю. Б., Некоторые вопросы морфологии и морфометрии озер Карело-Финской ССР, Тезисы доклада на научной сессии..., Петрозаводск, 1956.
- Лутковский С. В., Образование льда в озерах, реках и морях, Москва, 1957.
- Материалы по гидрологии (лимнологии) Карелии, Труды Карельского филиала Академии наук СССР, Вып. XXVII, Петрозаводск, 1960.
- Мейен В. А., Рыбное хозяйство в озерах и прудах, Москва, 1941.
- Молчанов И. В., Онежское озеро, Ленинград, 1946.
- Море, Состав. В. Романовский и др., перевод с французского, Москва, 1960.
- Мурaveйский С. Д., Очерки по теории и методам морфологии озер, Вопросы географии, Сборник седьмой, Климатология и гидрология, Москва, 1948.
- Наливкин Д. В., Учение о фациях, II, Москва—Ленинград, 1956.
- Наставление гидрометеорологическим станциям и постам, Выпуск 7, Гидрологические наблюдения на озерных станциях, Ленинград, 1948.
- Наставление гидрометеорологическим станциям и постам, Выпуск 7, Часть I, 1957.
- Огиевский А. В., Гидрология суши (общая и инженерная), издание третье, Москва, 1952.
- Первухин М. А., О генетической классификации озерных ванн, «Землеведение», 1937, № 6.
- Россолимо Л., Морфометрия Косинских озер, Труды Косинской биологической станции, Вып. 2, 1925.
- Ростовцев М. И. и Тармисто В. Ю., Эстонская ССР, Таллин, 1955.
- Саркисян С. Г., Байкал, Москва, 1955.

- Семенович Н. И., Лимнологические условия накопления железистых осадков в озерах, Труды лаборатории озероведения, том VI, Москва—Ленинград, 1958.
- Соколов А. А., Гидрография СССР (воды суши), Ленинград, 1952.
- Труды Сязозерской комплексной экспедиции, Том 1, Гидрология и гидрохимия, Петрозаводск, 1959.
- Труды III Всесоюзного гидрологического съезда, Том IV, Секция озер и водохранилищ, Ленинград, 1959.
- Форель Ф. А., а) Руководство по озероведению (общая лимнология), перевод с немецкого, С.-Петербург, 1912; б) Инструкция для исследования озер, издана Императорским русским географическим обществом, Санкт-Петербург, 1904.
- Чеботарев А. Н., Гидрология суши, Ленинград, 1955.
- Черфас Б. И., Рыбоводство в естественных водоемах, Москва, 1950.
- VI научная конференция по изучению водоемов Прибалтики, 14—18 апреля 1958 г., тезисы докладов, Вильнюс, 1958.
- Шлямин Б. А., Каспийское море, Москва, 1954.
- Шокальский Ю. М., а) Океанография, 1917; б) Физическая океанография, 1933.
- Штокман В. Б., а) Стационарные ветровые течения в море..., Изв. АН СССР, сер. геогр. и геоф., 1932; б) Ветровой нагон и горизонтальная циркуляция в замкнутом море небольшой глубины, Изв. АН СССР, сер. геогр. и геоф., 1941.
- Шубаев Л. П., Лекции по общему землеведению, Озера, 1958.
- Шулейкин В. В., Физика моря, Москва, 1953.
- Jaczynowski J., Morfometrija jezior Gostynskich, Przegląd geograficzny, Tom IX, Warszawa, 1929.
- Kondracki J. i Szostak M., Zarys geomorfologiczny i hydrograficzny jezior okolic Węgorzewa, Roczniki nauk rolniczych, tom 77—B—1, 1960.
- Lencewicz S., Geografia fizyczna Polski, Opracował i uzupełnił Jerzy Kondracki, Warszawa, 1955.
- Lencewicz S. i Kondracki J., Geografia fizyczna Polski, Warszawa, 1959.
- Maślankiewicz K., Wulkany, Warszawa, 1961.
- Przegląd geograficzny, Kwartalnik, Tom XXVI, zeszyt 2, Warszawa, 1954.
- Berzinš B., Die Morphometrie einiger Seen Lettlands, Riga, 1943.
- Brehm W., Einführung in die Limnologie, Berlin, 1930.
- Forel F. A., Handbuch der Seenkunde, Stuttgart, 1901.
- Halbfass W., а) Die Seen der Erde, Gotha, 1922; б) Grundzüge der vergleichenden Seenkunde, Berlin, 1923.
- Lenz F., Biologie der Süßwasserseen, Berlin, 1928.
- Lundquist G., Bodenablagerungen und Entwicklungstypen der Seen, Stuttgart, 1927.
- Naumann E., а) Zur Kritik des Planktonbegriffes, Ark. f. Bot., 1927; а) Die Eisenorganismen, Grundlinien der limnologischen Fragestellung, Rev. 24, 1930.

- Penck A., a) Morphologie der Erdoberfläche, I. B., Stuttgart, 1894;
b) Morphometrie des Bodensees, Jahrbuch der Geogr. Ges. zu München, 1894.
- Peucker K., a) Beiträge zur orometrischen Methodenlehre, Wroclaw, 1890; b) Morphometrie der Kopenteiche, Hirschberg, 1896.
- Riikoja H., Zur Morphometrie einiger Seen Eestis, Tartu, I t. 1930, II t. 1937.
- Ruttner F., Grundriss der Limnologie (Hydrobiologie des Süßwassers), 2. Auflage, Berlin, 1952.
- Schmidt W., Wirkungen der ungeordneten Bewegung im Wasser der Meere und Seen, Ann. d. Hydr. u. Met., XXXV, H. I, 1917.
- Thienemann A., Die Binnengewässer Mitteleuropas, Stuttgart, 1925.
- Woldstedt P., Probleme der Seenbildung in Norddeutschland., Ges. f. Erdkunde zu Berlin, Berlin, 1926.
- Birge E. A., The work of wind in warming a lake, Transact. Wisc. Acad. Sci., 20, 1922.
- Hutchinson G. Evelyn, A Treatise on Limnology, Vol. I, New York, 1957.
- Salisbury Rollin D., Physiography, Third edition, revized, New York, 1919.
- Welch Paul S., a) Limnology, New York and London, 1935; Second edition 1952; b) Limnological Methods, Philadelphia and Toronto, 1948.
- Collet Leon W., Les lacs, leur mode de formation, leurs eaux, leur destin. Elements d'hydro-geologie, Paris, 1925.
- Forel F. A., Le Léman, I, II, III v., Lausanne, 1892, 1895, 1901.
-

DALYKŲ RODYKLĖ

- agonijos fazė 280
aklinieji ežerai 103
altitudė 58
antropogeniniai ežerai 47
apyžeris 40
ašių rumbai 39
atabradas 53
atoslūgiai 127
- bangavimas 128
bangos schema 129
baseino dydis 103
batigrafinė kreivė 80
batimetrinis planas 70
bentalis 251
bentosas 252
biocenozės 252
biogeninės medžiagos 234
biohidrologija 245
biolitai 290
biologinė klasifikacija 250
biotopai 251
- charakteristikų gradientai 135
cirkiniai ežerai 52
- deguoninis šuolis 233
detritas 254, 289
didžiausias gylis 68
didžiausias plotis 61
didžioji ašis 39
difuzinė sąmaiša 134
dinaminė sąmaiša 168
- dinaminis tūrio koeficientas 178
dirbtiniai ežerai 44
distrofiniai ežerai 251
druskų stratifikacija 228
dubuo 34, 37
dugnas 96
dugninės morenos ežerai 51
dugno įgaubimas 94
dugno išgaubimas 94
dugno nuolydis 96
dugno plotas 100
dugno ploto išplitimas 101
dugno polinkis 96
dugno reljefas 94
dugno reljefo išsivystymas 101
dumblas 35, 290, 292
duobtiniai ežerai 43
- eoliniai ežerai 47
epilimnionas 139
eutrofiniai ežerai 250
evorsiniai ežerai 52
ežeras 29
ežeringumo koeficientas 65
ežero akustika 208, 222
ežero biologija 245
ežero chemizmas 223
ežero hidromechanika 126
ežero optika 208
ežero termika 196
ežerotyra 9
ežero vanduo 120

- facija 294
 fitobentosas 252
 fitoplanktonas 29, 113, 252
 fliuvioglacigeniniai ežerai 51
 formacija 294
 formos koeficientai 87
 frikinė sąmaiša 134

 galinių morenų ežerai 51
 gamtiniai ežerai 44
 gamybinė klasifikacija 319
 genezinė klasifikacija 43
 geogr. padėtis 58
 gyliai 68
 glacialiniai ežerai 50
 glacigeniniai ežerai 50
 gruntai 43
 guolis 36

 hidrobiologija 11, 245
 hidrobiontai 246
 hidrologinis balansas 121
 hidrostatinė konvekcija 198
 hidrostatinis slėgimas 126
 hipolimnionas 139
 hipsografinė kreivė 80

 įdubimai 78
 ilgis 59
 intakai 103
 išgrauža 53
 iškilimai 78
 ištakas 103
 ištakiniai ežerai 103
 izobatiniai paviršiai 69
 izobatinis būdas 77
 izobatos 32
 izohipsės 32
 izopaviršiai 135

 jaunystės fazė 279
 jūra 31

 kalvoto moreninio reljefo ežerai 51
 karosiniai ežerai 321
 karstiniai ežerai 46
 karšties fazė 280
 karšiniai ežerai 320

 konsumentai 248
 kontūrai 37
 konusinis būdas 73
 konvekinė sąmaiša 163
 krantai 40
 krantinė 65

 ledynmetiniai ežerai 44
 ledo luistų guoliniai ežerai 51
 lydekiniai ežerai 320
 liekaniniai ežerai 51
 lygis 117
 lygio svyravimai 121
 limaniniai ežerai 52
 limnigrafas 125
 limnimetras 124
 limnoglacigeniniai ežerai 51
 limnologija 9
 litoralinė zona 42, 255
 litoralis 252

 makroflora 258
 masių apykaitos koeficientas A 154
 mastelio vardiklis N 32
 mažoji ašis 39
 metalimnionas 139
 meteoritiniai ežerai 47
 mezotrofiniai ežerai 250
 molekulinė sąmaiša 134
 moliarinė sąmaiša 134
 morfogeneze 37, 43
 morfografija 37
 morfologija 37
 morfometrija 37, 55

 nektobentosas 254
 nektonas 254
 neršimas 270
 neustonas 255
 nimija 294
 norminiai kūnai 69
 nutekamieji ežerai 35, 103
 nuogulos 279
 nuogriuviniai ežerai 46
 nuosėdos 35, 279, 283
 nuotolis S 41; S₀ 41
 nuotvanka 128

oligotrofiniai ežerai 250
organogeniniai ežerai 47

paežerė 40
paežeriniai ežerai 47
pagrindiniai ežero elementai 34
pagrindinis ežero konusas 85
pajūriniai ežerai 47
panuovalis 53
paplūdimys 53
patvanka 128

patvenktiniai ežerai 43
paukščiai 273
paviršiaus centras 39
paviršiaus deniveliacijos 127
paviršiaus išplitimas 65
paviršiaus plotas 61
pelagialis 252
pelaginė sritis 42, 258
Penko būdas 81
perifitonas 252
perimetras 65

pirminė vandens masė 112
pirminis dubuo 43
plankteriai 264
planktonas 29, 252
plotis 59
ploto rodiklis 103
plotų kreivės 80
plovas 247, 297
poledynmetiniai ežerai 44
potvyniai 127
požeminiai ežerai 31
pratakiniai ežerai 103
prizminis būdas 72
producentai 247
profiliai 42
profundalinė sritis 42, 257
profundalis 252

reducentai 247
redukcijos į vienodus pagrindus būdas 81
reliatyvusis talpumas 85
rininiai ežerai 51

saldo $\pm \Delta V$ 122; $\pm \Delta Q$ 200
salingumas 70

sąmaiša po ledo dangą 177
samypla 53
sapropeliai 21, 289
sapropelitai 21
seišos 17, 130
senatvės fazė 280
servija 294
sestonas 254
sykiniai ežerai 319
simpsoninis būdas 74
skardis 53
specifinis tūrio koeficientas 113
spindulių refleksija 215
spindulių refrakcija 218
srovės ežere 132
starkiniai ežerai 320
stratifikacija pagal tankį 141
sublitoralinė zona 42, 256
sublitoralis 252
subrendimo fazė 279
sudėtingieji dubenys 52
svorio centras 40

šilumos atsargos 84, 201

tankio gradientas E 140
tektoniniai ežerai 45
temperatūrinė stratifikacija 197
temperatūrinio šuolio sluoksnis 138
terminis balansas 199
terminė klasifikacija 275
terminė konvekcija 198
terminės zonos 139, 140
tyrimų kompleksiskumas 9
triptonas 254
turbulentinė sąmaiša 134, 154
turbulentiškumo koeficientas K 163
tūrio išsivystymas 85
tūrio skaičiavimas 71
tūrių kreivės 83
tūrių skalė 83
tvarkingoji sąmaiša 177
tvenkinių uždumblėjimas 294

upė 31
upės termika 196
upiniai ežerai 46
uždarieji ežerai 103

vandens druskingumas 113, 225
vandens gëlumas 113
vandens išlaidos 118
vandens kietumas 116
vandenskyriai ežerai 103
vandens masė 34, 102, 111
vandens minkštumas 116
vandens pajamos 117
vandens skaidrumas 212
vandens spalva 208
vandens sūrumas 113
vandens tankis 113
vandenų pastovumas 133
vandenų sąmaiša 133

vėjo koeficientas 132
vibracija 130, 131
vidutinis gylis 68
vidutinis plotis 61
vingiuotumas 66
vulkaniniai ežerai 46

zoobentosas 252
zooplanktonas 29, 113, 251

žemės sferiškumas 70
žuvys 266
žuvų troškimas (dusimas) 251

TURINYS

Pratartis	5
-----------------	---

Įvadas

EŽEROTYRA • EŽERAS

I. Ežerotyra	9
1. Kas yra ežerotyra	9
2. Ežerotyros metodai; pagalbiniai mokslai	12
3. Iš ežerotyros istorijos	13
a) Ežerotyros vystymosi pradžia ir žymesnieji įvairių šalių limnologai	13
b) Ežerotyros vystymasis Tarybų Sąjungoje	15
c) Bendrieji ežerotyros vystymosi bruožai	29
II. Ežeras	29
1. Kas yra ežeras	29
2. Kaip ežeras atvaizduojamas planuose ir žemėlapiuose	32
3. Pagrindiniai ežero elementai	34

Pirmoji dalis

EŽERO DUBUO

I. Ežero morfologija	37
1. Morfografija	37
a) Ežero paviršiaus formos	37
Paviršiaus geometrinis pavidalas; kontūrai	37
Ežero ašys; paviršiaus centras	39
Ežero krantai	40
b) Ežero dubens formos	40
Dubens geometrinis pavidalas	40
Dubens svorio centras	40
Ežero zonos ir sritys	42

2. Morfogenezė	43
a) Gruntų reikšmė	43
b) Genezinė ežerų klasifikacija	43
Lietuvos ežerų genezinė klasifikacija	50
c) Litoralinės zonos formavimasis	53
II. Ežero morfometrija	55
1. Apie morfometriją apskritai	55
a) Kas yra morfometrija	55
b) Ežero morfometrijos rodiklių klausimo reikšmė ir svarbesnieji jo istorijos momentai	56
c) Morfometrinių rodiklių klasifikacija	57
2. I grupė: Rodikliai, būdinantieji ežero aplinką	58
3. II grupė: Ežero paviršiaus rodikliai	59
a) Ilgis; plotis	59
b) Paviršiaus plotas	61
c) Perimetras, arba krantinės linija	65
4. III grupė: Ežero tūrio rodikliai	68
a) Gyliai	68
b) Izobatiniai paviršiai; salingumas	69
c) Tūrio skaičiavimas	71
Prizminis būdas	72
Konusinis būdas	73
Simpsoninis būdas	74
Izobatinis būdas	77
d) Plotų ir tūrių kreivės	80
e) Tūrio išsivystymas ir reliatyvusis talpumas	85
5. IV grupė: Rodikliai, būdinantieji ežero dubens formą	87
a) Santykiai $k = H_v : H_d$ ir $c = H_v : S_0$ (formos koeficientai)	87
b) Ežerų dubenų formos ir batigrafinės kreivės	88
c) Batigrafinės kreivės ir tūrių skaičiavimas	89
6. V grupė: Rodikliai, būdinantieji ežero dugno reljefą	94
a) Dugno įgaubimas ir išgaubimas	94
b) Dugno polinkis ir nuolydis	96
c) Dugno plotas F	100
7. VI grupė: Rodikliai, būdinantieji ežero vandens masę	102
Morfometrinių ežero charakteristika	104

Antroji dalis

EŽERO VANDENS MASĖ

I. Ežero hidrologinis režimas	111
1. Ežero vandens masės forma, kilmė ir esmė	111
2. Ežero vandens savumai	113
3. Ežero hidrologinis balansas	117
a) Ežero vandens pajamos	117
b) Ežero vandens išlaidos	118

c) Kaip ilgai vanduo išbūna ežere	120
d) Ežero hidrologinis balansas ir lygio svyravimai	121
e) Limnimetrija	124
II. Ežero hidromechanika	126
1. Ežero statika ir dinamika	126
a) Vandens masės hidrostatinis slėgimas	126
b) Ežero paviršiaus pavidalas	126
c) Ežero paviršiaus deniveliacijos	127
d) Ežero bangavimas	128
e) Srovės ežere	132
2. Ežero vandenų pastovumas ir sąmaiša	133
a) Vandenų pastovumo ir sąmaišos esmė bei reikšmė	133
b) Izopaviršiai ir charakteristikų gradientai	135
c) Temperatūrinio šuolio sluoksnis	138
d) Ežero vandens masės pastovumo sąlygos ir šuolio sluoksnis; tankio gradientas E	140
e) Vandens masės pastovumo rodiklių D ir D_v nustatymas iš vėjo darbo kiekio	142
D skaičiavimas grafiniu metodu	142
D skaičiavimas analiziniu metodu	148
D skaičiavimas pagal Muraveiskio formulę	150
f) Turbulentinės sąmaišos lygtis ir masių apykaitos koeficientas A	154
Turbulentiškumo koeficientas K	162
g) Konvekinė sąmaiša	163
h) Dinaminė sąmaiša	168
Šmidto sprendimas	169
Berdžo sprendimas	174
Zubovo formulė	176
i) Tvarkingoji sąmaiša	177
k) Sąmaiša po ledo danga	177
3. V. Chomskio pastangos praplėsti ir pagilinti žinias apie ežero vandenų dinamines sąlygas ir jų sąsąją su ežero dubens forma	177
a) Dinaminis tūrio koeficientas	178
b) Ežerų, kurių dubens forma taisyklinga, vandens masės pa- stovumo rodiklių skaičiavimas grafinių metodu	179
c) Taisyklingos formos ežerų dinaminės sąmaišos rodiklių skaičiavimas grafiniu metodu	185
d) Masių apykaitos koeficientas A ir ežero dubens forma	189
e) Išvados	193
III. Ežero termika	196
1. Ežero vandens masės įšilimo ir atšalimo procesai	196
2. Terminis balansas	199
3. Šilumos atsargos ežero vandens masėje	201
4. Ežero vandens masės pasikeitimas šiluma su dugnu	202

5. Ežero užšalimas	203
6. Zvilgsnis į Lietuvos TSR ežerų vandens temperatūrinį režimą	206
IV. Ežero optika ir akustika	208
1. Ežero vandens spalva	208
2. Ežero vandens skaidrumas	212
3. Spindulių refleksija nuo ežero paviršiaus	215
4. Spindulių refrakcija virš ežero paviršiaus	218
5. Ežero akustika	222
V. Ežero chemizmas	223
1. Ežero vandens pajamų cheminė sudėtis	224
2. Cheminiai pakitimai, kuriuos patiria vanduo, būdamas ežere	225
3. Vandens išlaidų įtaka į ežero vandens cheminę sudėtį	227
4. Ežero vandens cheminės sudėties svyravimai	227
5. Dujos ežero vandenyje	231
6. Organinės ir biogeninės medžiagos ežero vandenyje	234
7. Lietuvos TSR ežerų vandens chemizmas	237
a) Pasirėmus visų pirma Dubingių ež. duomenimis	237
b) Pasirėmus Kryžiuočių ir Platielių ež. duomenimis	240
c) Pasirėmus visais, ligi 1960 m. surinktais, duomenimis	243

Trečioji dalis

EŽERO BIOLOGIJA

I. Hidrobiologija ir biohidrologija	245
II. Hidrobiontai ir jų veikla	246
Biologiniai procesai ežere ir jų reikšmė	246
Hidrobiontų klasifikacija mitybos atžvilgiu; mitybinės gran-	
dinės ir produkcija	247
Ežerų biologinė klasifikacija	250
Oligotrofiniai, arba mažamaisčiai, ežerai	250
Mezotrofiniai, arba vidutinmaisčiai, ežerai	250
Eutrofiniai, arba daugiamaisčiai, ežerai	250
Distrofiniai, arba bemašiniai, ežerai	251
III. Hidrobiontų pasiskirstymas ežere	251
Biotopai	251
Biocenozės	252
IV. Ežero zonos ir sritys kaip biotopai	255
Litoralinė zona	255
Sublitoralinė zona	256
Profundalinė sritis	257
Pelaginė sritis	258
V. Ežero sričių ir zonų biologija	258
Makroflora	258
Dugno gyvūnija	260

Reliktiniai ir kiti dugno vėžiagyviai	262
Pelaginės srities flora ir fauna	264
VI. Žuvis	266
1. Žuvų rūšinė sudėtis ežeruose	266
2. Žuvų gyvenimas, mityba ir veisimasis ežeruose	267
Žuvų pasiskirstymas ežere metų būvyje	267
Žuvų mityba	268
Neršimas	270
Kai kurios biologinės adaptacijos, švelninančios jaunikių konkurenciją dėl maisto	270
VII. Paukščiai	273
VIII. Terminė ežerų klasifikacija	275

Ketvirtoji dalis

EŽERO VYSTYMOSI EIGA • NUOSĖDOS

I. Ežero vystymosi ciklas	277
1. Bendroji schema	277
2. Ežerų vystymosi nevienodumo priežastys	281
II. Ežerinės nuosėdos ir ežero užžėlimas	283
1. Bendrosios žinios	283
2. Terminis dumblo režimas	292
3. Geografinis ežerinių nuosėdų zoniškumas	293
4. Tvenkinių uždumblėjimas	294
5. Lietuvos TSR ežerų nuosėdos	296
6. Ežerų užžėlimas	297
7. Kai kurie Lietuvos ežerų paleohidrologijos bruožai	298

Baigiamoji dalis

EŽEROTYROS ŠAKOS

I. Regioninė, arba lyginamoji, limnologija	301
1. Lietuvos TSR ežerai	302
2. Visos Tarybų Sąjungos ežerai	305
3. Viso sausumos paviršiaus ežerai	307
a) Bendras visos sausumos ežerų skaičius	307
b) Kuriose vietose ežerų daugiausia	308
c) Ežeras ir aplinka	310
d) A. I. Dzėns-Litovskio viso sausumos paviršiaus ir Tarybų Sąjungos ežerų geografinis zonavimas	311
Žemės rutulio žemynų ežerų geografinės zonos	312
Tarybų Sąjungos ežerų geografinės zonos	314

II. Taikomoji ir praktinė limnologija	316
1. Taikomoji limnologija	316
a) Pagrindinės žinios apie žuvų ūkį	316
Perspektyvos	316
Ežerų gamybinė klasifikacija	319
Sykiniai ežerai	319
Karšiniai ežerai	320
Starkiniai ežerai	320
Lydekiniai ežerai	320
Karosiniai ežerai	321
Ežerų produktyvumo faktoriai	322
Priemonės vertingų žuvų kiekiui padidinti	324
b) Medžioklė	324
c) Susisiekimas ir transportas	325
d) Gyventojų aprūpinimas vandeniu; ledo panaudojimas	325
e) Ežerai ir melioracija	326
f) Ežerai ir gamyba	327
g) Ežerai ir energetika	327
h) Ežerai ir sveikata	328
2. Praktinė ežerotyra	328
a) Metodai	328
b) Instrukcijos	330
Baigiamasis žodis	333
Mokslinės konferencijos limnologinės sekcijos nutarimo išvadinė dalis	334
Panaudota literatūra	337
Dalykų rodyklė	343

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	7
-------------------	---

Введение

ОЗЕРОВЕДЕНИЕ • ОЗЕРО

I. Озероведение	9
1. Определение озероведения	9
2. Методы; вспомогательные дисциплины	12
3. Из истории озероведения	13
а) Начало озероведческих исследований и наиболее известные озероведы разных стран	13
б) Развитие озероведения в Советском Союзе	15
в) Общие черты развития озероведения	29
II. Озеро	29
1. Определение озера	29
2. О изображении озер на планах и нанесении их на картах....	32
3. Основные элементы озера	34

Первая часть

ЧАША ОЗЕРА

I. Морфология озера	37
1. Морфография	37
а) Формы поверхности озер	37
Геометрическая форма поверхности озера; контуры	37
Оси поверхности озера; центр поверхности	39
Берега озера	40
б) Форма чаши озера	40
Геометрическая форма чаши озера	40
Центр тяжести озера	40
Зоны и области в озере	42

2. Морфогенез	43
а) Значение грунтов	43
б) Генетическая классификация озер	43
Генетическая классификация озер Литовской ССР	50
в) Формирование литоральной зоны	53
II. Морфометрия озер	55
1. О морфометрии вообще	55
а) Предмет морфометрии	55
б) Значение вопроса о морфометрических показателях и важнейшие моменты истории этого вопроса	56
в) Классификация морфометрических показателей	57
2. I группа: Показатели, характеризующие среду, в которой находится озеро	58
3. II группа: Показатели, характеризующие поверхность озера	59
а) Длина; ширина	59
б) Площадь поверхности	61
в) Периметр, или береговая линия	65
4. III группа: Показатели, относящиеся к объему озера	68
а) Глубины	68
б) Поверхности, ограниченные изобатами; острова	69
в) Вычисление объема озера	71
По формуле объема призмы	72
По формуле объема усеченного конуса	73
По формуле Симпсона	74
При помощи изобат	77
г) Кривые площадей и объемов	80
д) Развитие объема и относительная емкость озера	85
5. IV группа: Показатели, характеризующие форму чаши озера	87
а) Отношения $k = H_v : H_d$ и $c = H_v : S_0$ (коэффициенты формы)	87
б) Формы чаши и батиграфические кривые	88
в) Батиграфические кривые и определение объема озер	89
6. V группа: Показатели, характеризующие рельеф дна озера	94
а) Вогнутость и выпуклость дна озера	94
б) Наклон и уклон дна	96
в) Площадь дна F	100
7. VI группа: Показатели, характеризующие водную массу озера	102
Морфометрическая характеристика озера	104

Вторая часть

ВОДНАЯ МАССА ОЗЕРА

I. Гидрологический режим озера	111
1. Форма водной массы озера; происхождение и сущность этой массы	111
2. Свойства озерной воды	113

3. Гидрологический баланс озера	117
а) Приход озерной воды	117
б) Расход озерной воды	118
в) Водообменность	120
г) Гидрологический баланс и колебания уровня	121
д) Лимниметрия	124
4. Гидромеханика озера	126
1. Статика и динамика озера	126
а) Гидростатическое давление водной массы	126
б) Внешний вид поверхности озера	126
в) Денивелиации поверхности озера	127
г) Волны	128
д) Течения	132
2. Устойчивость водной массы и перемешивание воды в озере	133
а) Сущность и значение устойчивости и перемешивания	133
б) Изоповерхности и градиенты характеристик	135
в) Слой температурного скачка	138
г) Условия устойчивости водной массы озера и слой скачка; градиент плотности E	140
д) Определение показателей устойчивости D и D_v по коли- честву работы ветра	142
Определение D графическим методом	142
Определение D аналитическим методом	148
Определение D по формуле Муравейского	150
е) Уравнение турбулентного перемешивания и коэффициент обмена A	154
Коэффициент турбулентности K	162
ж) Конвективное перемешивание	163
з) Динамическое перемешивание	168
Решение проблемы по Шмидту	169
Решение проблемы по Берджу	174
Формула Зубова	176
и) Упорядоченное перемешивание	177
к) Перемешивание при наличии ледяного покрова	177
3. Попытка В. Хомскиса расширить и углубить сведения о дина- мических условиях воды в озере и о связи этих условий с формой чаши	177
а) Динамический коэффициент объема	178
б) Определение графическим способом показателей устойчи- вости водной массы озер, чаши которых имеют правиль- ную форму	179
в) Определение графическим способом показателей динами- ческого перемешивания воды озер, чаши которых имеют правильную форму	185
г) Коэффициент обмена A и форма чаши озера	189
д) Выводы	193

III. Термика озер	196
1. Процессы нагревания и охлаждения воды в озере	196
2. Термический баланс	199
3. Теплозапас в водной массе озера	201
4. Теплообмен водной массы с дном	202
5. Процесс замерзания озера	203
6. Несколько слов о температурном режиме в озерах Литовской ССР	206
IV. Оптика и акустика озера	208
1. Цвет воды	208
2. Прозрачность воды	212
3. Отражение лучей от поверхности озера	215
4. Переломление лучей над поверхностью озера	218
5. Акустика озера	222
V. Химизм озера	223
1. Химический состав притекающей воды	224
2. Химические изменения, претерпеваемые водой за время пребывания в озере	225
3. Влияние расхода воды на химический состав водной массы озера	227
4. Колебания химического состава озерной воды	227
5. Газы в водной массе озера	231
6. Органические и биогенные вещества в озерной воде	234
7. Химизм воды озер Литовской ССР	237
а) По данным оз. Дубингяй	237
б) По данным оз. Крижюочай и Плателяй	240
в) По всем данным, собранным до 1960 г.	243

Третья часть

ЖИЗНЬ В ОЗЕРАХ

I. Гидробиология и биогеология	245
II. Гидробионты и их деятельность	246
Биологические процессы в озере и их значение	246
Подразделение гидробионтов относительно питания; цепи гидробионтов; продукция	247
Биологическая классификация озер	250

Оз е р а:

Олиготрофные	250
Мезотрофные	250
Эвтрофные	250
Дистрофные	251

III. Распределение гидробионтов в озере	251
Биотопы	251
Биоценозы	252
IV. Зоны и области озера как биотопы	255
Литоральная зона	255
Сублиторальная зона	256
Профундальная область	257
Пелагическая область	258
V. Биология зон и областей озера	258
Макрофлора литоральной и сублиторальной зон	258
Обитатели дна	260
Ракообразные, обитающие на дне озера	262
Флора и фауна пелагической области	264
VI. Рыбы	266
1. Какие виды составляют рыбное население озера	266
2. Жизнь, питание и размножение рыб в озерах	267
Как распределяются рыбы по биотопам в течение года ..	267
Питание рыб	268
Нерест	270
Некоторые биологические адаптации, облегчающие поло-	
жение молоди относительно питания	270
VII. Птицы	273
VIII. Термическая классификация озер	275

Четвертая часть

РАЗВИТИЕ ОЗЕРА • ОТЛОЖЕНИЯ

I. Цикл развития озера	277
1. Общая схема	277
2. Почему озера не одинаково развиваются	281
II. Озерные отложения и зарастание озер	283
1. Общие сведения	283
2. Термический режим ила	292
3. Географическая зональность озерных отложений	293
4. Заиление водохранилищ	294
5. Отложения в озерах Литовской ССР	296
6. Зарастание озер	297
7. Несколько слов о палеогидрологии озер Литовской ССР	298

Заключительная часть

ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ ОЗЕРОВЕДЕНИЯ

I. Региональное, или сравнительное озероведение	301
---	-----

1. Озера Литовской ССР	302
2. Озера на всей территории Советского Союза	305
3. Озера на всей суше земного шара	307
а) Статистика озер	307
б) В каких местах наблюдаются большие скопления озер ..	308
в) Озера и окружающая их среда	310
г) Географическое зонирование озер всей суши земного шара вообще и озер Советского Союза в частности, предложен- ное проф. А. И. Дзенс-Литовским	311
Географическое зонирование озер всей суши земного шара	312
Географическое зонирование озер Советского Союза ..	314
II. Прикладное и практическое озероведение	316
1. Прикладное озероведение	316
а) Основные сведения о биологических основах рыбного хо- зяйства	316
Перспективы	316
Промысловая классификация озер	319

О з е р а:

Сиговые	319
Лещевые	320
Судаковые	320
Щуковые	320
Карасевые	321
Факторы, влияющие на продуктивность озер	322
Меры, которые следует принять, чтобы возросло полноцен- ное рыбное население в озерах	324
б) Охота	324
в) Пути сообщения и транспорт	325
г) Снабжение населения водой и льдом	325
д) Озера и мелиорация	326
е) Озера и производство	327
ж) Озера и энергетика	327
з) Озера и здоровье	328
2. Практическое озероведение	328
а) Методы исследований	328
б) Инструкции и наставления	330
Слово читателю	333
Заключительная часть решения лимнологической секции научной конференции (1960)	334

Redaktorius V. Chomskis

Išleido LTSR MA Geologijos ir Geografijos institutas

Pasirašyta spausdinti 1961.XII.9. LV 11634

Popierius $60 \times 92\frac{1}{16} = 11,25$ pop. lapo — 22,5 sp. l. 20,25 apsk. l. l.

Kaina Rb. 1,10

Tiražas 1200

Spausdino Valst. „Pergalės“ sp. Vilniuje, Latako 6 Užsak. Nr. 1303